

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-141047

(43)Date of publication of application : 23.05.2000

(51)Int.Cl. B23K 11/00

B23K 11/11

B23K 11/24

B23Q 41/06

G06F 17/60

(21)Application number : 10-313121 (71)Applicant : HONDA MOTOR CO. LTD

(22)Date of filing : 04.11.1998 (72)Inventor : SHIBATA KAORU
TAKANO FUMITOMO
KANEKO MASAKATSU
SAITO HITOSHI
KAWAI YASUHIRO

(54) WORK ALLOTMENT SIMULATING METHOD FOR PRODUCTION LINE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To uniformly distribute a work to working robots arranged in one production line by allotting non-processed spot welding points to be processed within the maximum working time indicated by the designated working time value to one spot welding gun based on the arrangement data and the spot welding data.

SOLUTION: Non-processed spot welding points to be processed within the maximum working time indicated by the designated working time value are allotted to one spot welding gun based on the arrangement data and the spot welding data. Since the

maximum working time is shortened, non-processed spot welding points which can not be processed within the maximum working time after the shortening of the maximum working time may be generated among the non-processed spot welding points allotted before the shortening with one spot welding gun high in rate of operation. These non-processed spot welding points are re-allotted to other spot welding guns affordable in rate of operation for the maximum working time after the shortening. As a result, the distribution of the spot welding points for the spot welding guns through the whole additional spot welding line are averaged.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-141047

(P2000-141047A)

(43) 公開日 平成12年5月23日(2000.5.23)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-ロ-ト* (参考)
B 2 3 K 11/00	5 7 0	B 2 3 K 11/00	5 7 0 3 C 0 4 2
11/11	5 7 0	11/11	5 7 0 Z 4 E 0 6 5
11/24	3 3 0	11/24	3 3 0 5 B 0 4 9
B 2 3 Q 41/06		B 2 3 Q 41/06	9 A 0 0 1
G 0 6 F 17/60		G 0 6 F 15/21	R

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平10-313121

(22) 出願日 平成10年11月4日(1998.11.4)

(71) 出願人 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(72) 発明者 柴田 薫

埼玉県狭山市新狭山1-10-1 ホンダエンジニアリング株式会社内

(72) 発明者 高野 文朋

埼玉県狭山市新狭山1-10-1 ホンダエンジニアリング株式会社内

(74) 代理人 100105094

弁理士 山▲崎▼ 薫

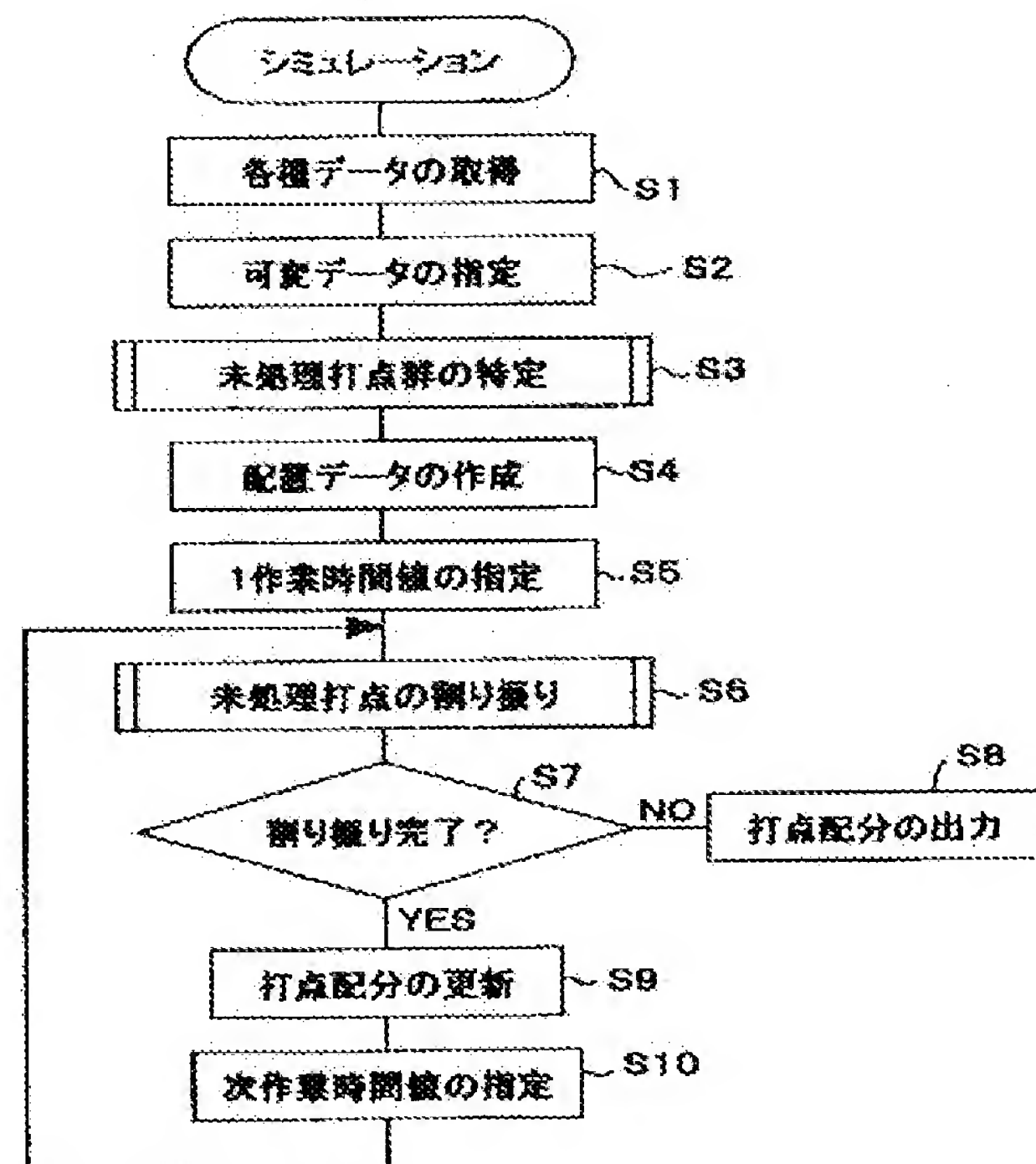
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 生産ラインの作業配分シミュレーション方法

(57) 【要約】

【課題】 1生産ラインに配列される作業ロボットにできる限り均等に作業を配分することができる生産ラインの作業配分シミュレーション方法を提供する。

【解決手段】 ステップS3で、最大作業時間内に1スポット溶接ガンで処理される未処理打点群が特定される。ステップS4では、特定された未処理打点群に基づいて1生産ラインに沿ってスポット溶接ガンの配置が特定される。特定された配置に基づいて、ステップS6では、短縮された最大作業時間内に各スポット溶接ガンで処理される未処理打点が決定される。短縮前に1スポット溶接ガンに配分された未処理打点群の中から短縮後の最大作業時間内に処理しきれない未処理打点が生じると、こうした未処理打点は、短縮後に最大作業時間に対して稼働率に余裕のある他のスポット溶接ガンに配分し直される。その結果、各スポット溶接ガンすなわち溶接ロボットの稼働率が平坦化される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ワーク上の全ての未処理打点の位置を示す打点データを取得する工程と、1スポット溶接ガンの最大作業時間を示す複数の作業時間値を含む作業時間データを取得する工程と、作業時間値の最大値が指定されると、前記打点データに基づき、最大値が示す最大作業時間内に1スポット溶接ガンで処理される未処理打点群を特定する工程と、特定された未処理打点群に基づいて、1生産ラインに沿ってスポット溶接ガンの配置を特定する配置データを作成する工程と、前記最大値以外の作業時間値が指定されると、前記配置データに基づき、生産ラインの上流側から順番に1スポット溶接ガンを指定する工程と、1スポット溶接ガンが指定されると、前記配置データおよび打点データに基づき、前記指定された作業時間値が示す最大作業時間内に処理される未処理打点を前記指定された1スポット溶接ガンに割り振る工程とを備えることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項2】 請求項1に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記打点データで示される全ての未処理打点が前記配置データで示される1生産ラインのスポット溶接ガンに割り振られる前記作業時間値の最小値を探り当てることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項3】 請求項2に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記最大値を段階的に引き下げることによって前記作業時間値を設定する工程と、前記最小値を探り当てるにあたって、設定された作業時間値ごとに、前記打点データで示される全ての未処理打点が前記配置データで示される1生産ラインのスポット溶接ガンに割り振られたか否かを判断する工程とをさらに備えることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項4】 請求項1～3のいずれかに記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記打点データで示される未処理打点ごとに使用可能なスポット溶接ガンを特定するガンデータを取得する工程と、前記未処理打点群を特定するにあたって1溶接ロボットを指定する工程と、指定された1溶接ロボットに最初に割り振られる第1未処理打点を指定する工程と、ガンデータを用いて、指定された第1未処理打点に対して1スポット溶接ガンを指定する工程と、ガンデータを用いて、指定された1スポット溶接ガンで処理される未処理打点を抽出する工程とをさらに備え、抽出された未処理打点から、前記最大値が示す最大作業時間内に1スポット溶接ガンで処理される未処理打点群が特定されることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項5】 請求項4に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、各スポット溶接ガンごとに作動範囲を示す作動範囲データを取得する工程と、

前記未処理打点群を特定するにあたって、前記打点データに基づき、前記第1未処理打点を含む作動範囲を前記ワーク上で画定する工程と、画定された作動範囲に含まれる未処理打点を抽出する工程とをさらに備え、抽出された未処理打点から、前記最大値が示す最大作業時間内に1スポット溶接ガンで処理される未処理打点群が特定されることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項6】 請求項5に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記第1未処理打点から順番に、前記未処理打点群に含まれる1未処理打点ごとに打順を付与する工程と、打順が付与されるたびに、その打順で特定される1未処理打点までに1スポット溶接ガンが費やす処理時間を算出する工程と、算出された処理時間が前記最大値に達するか否かを判定する工程とをさらに備えることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項7】 請求項6に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記処理時間は、1対の未処理打点間で費やされるスポット溶接ガンの2点間移動時間を示す移動時間データを用いて算出されることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項8】 請求項7に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、付与された打順に従って相前後する1対の未処理打点に対してスポット溶接ガンのアプローチ方向を規定するベクトルを特定する工程と、ベクトル同士の位置関係を検出する工程と、検出された位置関係に基づいて、溶接ロボットの姿勢変化の有無を判断する工程とをさらに備え、前記姿勢変化がないと判断されると、短ピッチ移動時間データで示されるスポット溶接ガンの短ピッチ移動時間を前記2点間移動時間に用いて前記処理時間が算出されることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項9】 請求項8に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記姿勢変化があると判断されると、姿勢変化時間データで示される溶接ロボットの姿勢変化時間を前記2点間移動時間に用いて前記処理時間が算出されることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項10】 請求項1～9のいずれかに記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記打点データで示される未処理打点ごとに、前記ワークの特性によって必然的に決定される打順を特定する打順データを取得する工程と、前記打順データに基づき、打順の若い未処理打点を優先的に前記未処理打点群に含ませる工程とをさらに備えることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項11】 請求項1～10のいずれかに記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、各

スポット溶接ガンごとに作動範囲を示す作動範囲データを取得する工程と、前記未処理打点を割り振るにあたって、前記配置データに基づき、前記指定された1スポット溶接ガンごとに作動範囲データで示される作動範囲を前記ワーク上に投影する工程と、前記打点データに基づき、投影された作動範囲に含まれる未処理打点を選択する工程とをさらに備えることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項12】 請求項11に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記選択された未処理打点に打順を付与する工程と、打順に従って順番に現未処理打点を指定する工程と、現未処理打点が指定されると、現未処理打点までに前記指定された1スポット溶接ガンが費やす処理時間を算出する工程と、算出された処理時間が前記指定された作業時間値に達するか否かを判定する工程とをさらに備えることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項13】 請求項12に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記処理時間は、1対の未処理打点間で費やされるスポット溶接ガンの2点間移動時間を示す移動時間データを用いて算出されることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項14】 請求項13に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記打順に従って相前後する1対の未処理打点に対してスポット溶接ガンのアプローチ方向を規定するベクトルを特定する工程と、ベクトル同士の位置関係を検出する工程と、検出された位置関係に基づいて、溶接ロボットの姿勢変化の有無を判断する工程とをさらに備え、前記姿勢変化がないと判断されると、短ピッチ移動時間データで示されるスポット溶接ガンの短ピッチ移動時間を前記2点間移動時間に用いて前記処理時間が算出されることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項15】 請求項14に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記姿勢変化があると判断されると、姿勢変化時間データで示される溶接ロボットの姿勢変化時間を前記2点間移動時間に用いて前記処理時間が算出されることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項16】 請求項1～15のいずれかに記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記打点データで示される未処理打点ごとに、前記ワークの特性によって必然的に決定される打順を特定する打順データを取得する工程と、前記打順データに基づき、打順の若い未処理打点を優先的に前記指定された1スポット溶接ガンに割り振る工程とをさらに備えることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項17】 ワーク上の全ての未処理作業点の位置を示す作業点データを取得する工程と、1作業ツールの

最大作業時間を示す複数の作業時間値を含む作業時間データを取得する工程と、作業時間値の最大値が指定されると、前記作業点データに基づき、最大値が示す最大作業時間内に1作業ツールで処理される未処理作業点群を特定する工程と、特定された未処理作業点群に基づいて、1生産ラインに沿って作業ツールの配置を特定する配置データを作成する工程と、前記最大値以外の作業時間値が指定されると、前記配置データに基づき、生産ラインの上流側から順番に1作業ツールを指定する工程と、1作業ツールが指定されると、前記配置データおよび作業点データに基づき、前記指定された作業時間値が示す最大作業時間内に処理される未処理作業点を前記指定された1作業ツールに割り振る工程とを備えることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項18】 請求項17に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記打点データで示される全ての未処理打点が前記配置データで示される1生産ラインのスポット溶接ガンに割り振られる前記作業時間値の最小値を探り当てることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項19】 請求項18に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記最大値を段階的に引き下げることによって前記作業時間値を設定する工程と、前記最小値を探り当てるにあたって、設定された作業時間値ごとに、前記作業点データで示される全ての未処理作業点が前記配置データで示される1生産ラインの作業ツールに割り振られたか否かを判断する工程とをさらに備えることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項20】 請求項17～19のいずれかに記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記作業ツールは、少なくとも2部材を互いに接合する接合ツールであることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項21】 請求項20に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記接合には、少なくとも、溶接、ボルト打ちおよびリベット打ちのいずれか1つが含まれることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項22】 請求項21に記載の生産ラインの作業配分シミュレーション方法において、前記溶接にはスポット溶接が含まれることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法。

【請求項23】 ワーク上の全ての未処理打点の位置を示す打点データを取得する工程と、1スポット溶接ガンの最大作業時間を示す複数の作業時間値を含む作業時間データを取得する工程と、作業時間値の最大値が指定されると、前記打点データに基づき、最大値が示す最大作業時間内に1スポット溶接ガンで処理される未処理打点

10

20

30

40

50

群を特定する工程と、特定された未処理打点群に基づいて、1生産ラインに沿ってスポット溶接ガンの配置を特定する配置データを作成する工程と、前記最大値以外の作業時間値が指定されると、前記配置データに基づき、生産ラインの上流側から順番に1スポット溶接ガンを指定する工程と、1スポット溶接ガンが指定されると、前記配置データおよび打点データに基づき、前記指定された作業時間値が示す最大作業時間内に処理される未処理打点を前記指定された1スポット溶接ガンに割り振る工程とをコンピュータに実行させることを特徴とする記録媒体。

【請求項24】 請求項23に記載の記録媒体において、前記打点データで示される全ての未処理打点が前記配置データで示される1生産ラインのスポット溶接ガンに割り振られる前記作業時間値の最小値を探り当てる工程をさらにコンピュータに実行させることを特徴とする記録媒体。

【請求項25】 請求項24に記載の記録媒体において、前記最大値を段階的に引き下げることによって前記作業時間値を設定する工程と、前記最小値を探り当てるにあたって、設定された作業時間値ごとに、前記打点データで示される全ての未処理打点が前記配置データで示される1生産ラインのスポット溶接ガンに割り振られたか否かを判断する工程とをさらにコンピュータに実行させることを特徴とする記録媒体。

【請求項26】 ワーク上の全ての未処理作業点の位置を示す作業点データを取得する工程と、1作業ツールの最大作業時間を示す複数の作業時間値を含む作業時間データを取得する工程と、作業時間値の最大値が指定されると、前記作業点データに基づき、最大値が示す最大作業時間内に1作業ツールで処理される未処理作業点群を特定する工程と、特定された未処理作業点群に基づいて、1生産ラインに沿って作業ツールの配置を特定する配置データを作成する工程と、前記最大値以外の作業時間値が指定されると、前記配置データに基づき、生産ラインの上流側から順番に1作業ツールを指定する工程と、1作業ツールが指定されると、前記配置データおよび作業点データに基づき、前記指定された作業時間値が示す最大作業時間内に処理される未処理作業点を前記指定された1作業ツールに割り振る工程とをコンピュータに実行させることを特徴とする記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、生産ラインに沿って配列される作業ロボットに、ワークに対する一連の作業を仮想的に配分することができる生産ラインの作業配分シミュレーション方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 例えば自動車製造の分野で知られるいわゆる「増し打ち」ラインでは、ラインに沿って配置され

たスポット溶接ガンがスポット溶接を実施することによって車体フレームの構成部材同士の接合強度が補強される。各スポット溶接ガンは、予め割り当てられた車体フレーム上のスポット溶接打点を処理する。割り当てられたスポット溶接打点を各スポット溶接ガンが処理すると、車体フレームが完成されるのである。

【0003】 こうした増し打ちラインでは、一般に、各スポット溶接ガンの処理に許される最大作業時間が規定される。この最大作業時間内に処理可能なスポット溶接打点が各スポット溶接ガンに割り当てられるのである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 一般に、生産ラインでは、作業ツールが最大作業時間を最大限に活かして作業をこなすことが求められる。しかしながら、例えば増し打ちラインでは、必ずしも全てのスポット溶接ガンが規定の最大作業時間をフルに活かしてスポット溶接をこなすことは限らない。最大作業時間の20%しか作業を行わないスポット溶接ガンもあれば、最大作業時間の80%を活用して作業をこなすスポット溶接ガンもある。こうした稼働率の違いは、打点ごとに使用されるスポット溶接ガンの種類が異なることや、ワーク上の打点と各スポット溶接ガンとの相対的な位置関係などに起因して必然的に生じてしまう。

【0005】 このように各スポット溶接ガンごとに稼働率が異なると、稼働率の高いスポット溶接ガンの故障頻度が上昇することが予想される。全てのスポット溶接ガンや、スポット溶接ガンが装着される全ての溶接ロボットの使用耐久時間が均一であれば、稼働率の高いものほど早期に使用耐久時間に到達してしまうからである。このように一部のスポット溶接ガンまたは溶接ロボットに故障が生じると、増し打ちライン全体を停止しなければならない。1生産ラインでスポット溶接ガンや溶接ロボットごとに生じる耐久時間のばらつきは生産ラインの稼働に大きく影響するのである。言い替えれば、1生産ラインでは、各作業ロボットにできる限り均等に作業が配分されることが望ましいのである。

【0006】 本発明は、上記実状に鑑みてなされたもので、1生産ラインに配置される作業ロボットにできる限り均等に作業を配分することができる生産ラインの作業配分シミュレーション方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために、本発明によれば、ワーク上の全ての未処理打点の位置を示す打点データを取得する工程と、1スポット溶接ガンの最大作業時間を示す複数の作業時間値を含む作業時間データを取得する工程と、作業時間値の最大値が指定されると、前記打点データに基づき、最大値が示す最大作業時間内に1スポット溶接ガンで処理される未処理打点群を特定する工程と、特定された未処理打点群に基

づいて、1生産ラインに沿ってスポット溶接ガンの配置を特定する配置データを作成する工程と、前記最大値以外の作業時間値が指定されると、前記配置データに基づき、生産ラインの上流側から順番に1スポット溶接ガンを指定する工程と、1スポット溶接ガンが指定されると、前記配置データおよび打点データに基づき、前記指定された作業時間値が示す最大作業時間内に処理される未処理打点を前記指定された1スポット溶接ガンに割り振る工程とを備えることを特徴とする生産ラインの作業配分シミュレーション方法が提供される。

【0008】かかる作業配分シミュレーション方法によれば、作業時間値の最大値が示す最大作業時間をフルに活用すべく各スポット溶接ガンに未処理打点の処理が配分される。この配分によって1生産ラインに沿ってスポット溶接ガンの配置が決定される。こうしてスポット溶接ガンの配置が決定されると、続いて、最大値以外すなわち最大値よりも小さい作業時間値を用いて各スポット溶接ガンに未処理打点の処理が再配分される。その結果、いわゆる稼働率の高い1スポット溶接ガンでは、最大値が示す最大作業時間内であれば処理される未処理打点の中から、最大値より小さい作業時間値が示す最大作業時間内に処理しきれない未処理打点が生じることがある。こうした未処理打点は、再配分時に、最大作業時間に対して稼働率に余裕のある他のスポット溶接ガンに配分し直される。その結果、生産ライン全体を通じてスポット溶接ガンの打点配分すなわち稼働率が平坦化されることとなる。

【0009】この作業配分シミュレーション方法では、前記打点データで示される全ての未処理打点が前記配置データで示される1生産ラインのスポット溶接ガンに割り振られる前記作業時間値の最小値を探り当てるようにしてもよい。こうした最小値が得られれば、その最小値を用いて未処理打点の再配分を実施した際に、最大限に平坦化された打点配分すなわち稼働率が得られることとなる。

【0010】最小値を探り当てるにあたって、作業配分シミュレーション方法は、前記最大値を段階的に引き下げることによって前記作業時間値を設定する工程と、設定された作業時間値ごとに、前記打点データで示される全ての未処理打点が前記配置データで示される1生産ラインのスポット溶接ガンに割り振られたか否かを判断する工程とを備えればよい。作業時間値の最大値を引き下げるたびに打点の再配分を実施することによって最終的に最小値が得られるのである。

【0011】前記未処理打点群を特定するにあたって、作業配分シミュレーション方法は、前記打点データで示される未処理打点ごとに使用可能なスポット溶接ガンを特定するガンデータを取得する工程と、1溶接ロボットを指定する工程と、指定された1溶接ロボットに最初に割り振られる第1未処理打点を指定する工程と、ガンデ

ータを用いて、指定された未処理打点に対して1スポット溶接ガンを指定する工程と、ガンデータを用いて、指定された1スポット溶接ガンで処理される未処理打点を抽出する工程とをさらに備えればよい。一般に、生産ラインでは、未処理打点の特性に応じて処理に用いられるスポット溶接ガンの種類が異なる。1スポット溶接ガンには必ずそのスポット溶接ガンで処理可能な未処理打点が割り振られなければならない。ガンデータに基づき未処理打点ごとに使用可能なスポット溶接ガンの種類が特定されれば、指定されたスポット溶接ガンで確実に処理される未処理打点を簡単に抽出することができるのである。こうして抽出された未処理打点から、前記最大値が示す最大作業時間内に1スポット溶接ガンで処理される未処理打点群が特定されれば、生産ラインの実情に則した信頼性の高いシミュレーション結果を提供することができる。

【0012】また、前記未処理打点群を特定するにあたって、作業配分シミュレーション方法は、各スポット溶接ガンごとに作動範囲を示す作動範囲データを取得する工程と、前記未処理打点群を特定するにあたって、前記打点データに基づき、前記第1未処理打点を含む作動範囲を前記ワーク上で画定する工程と、画定された作動範囲に含まれる未処理打点を抽出する工程とをさらに備えてもよい。一般に、生産ラインでは、溶接ロボットの動きに基づいてスポット溶接ガンの作動範囲が限定されてしまう。この作動範囲外に存在する未処理打点をスポット溶接ガンが処理することができない。したがって、1スポット溶接ガンには必ず作動範囲内の未処理打点が割り振られなければならない。ワーク上でスポット溶接ガンの作動範囲が特定されれば、作動範囲に含まれる未処理打点を簡単に抽出することが可能となる。こうして抽出された未処理打点から、前記最大値が示す最大作業時間内に1スポット溶接ガンで処理される未処理打点群が特定されれば、生産ラインの実情に則した信頼性の高いシミュレーション結果を提供することができる。

【0013】さらに、前記未処理打点群を特定するにあたって、作業配分シミュレーション方法は、前記第1未処理打点から順番に、前記未処理打点群に含まれる1未処理打点ごと打順を付与する工程と、打順が付与されるたびに、その打順で特定される1未処理打点までに1スポット溶接ガンが費やす処理時間を算出する工程と、算出された処理時間が前記最大値に達するか否かを判定する工程とを備えてもよい。一般に、生産ラインでは、1作業ステーションごとに作業時間が限定される。限定された作業時間すなわち最大作業時間内にスポット溶接ガンは処理を完了しなければならない。未処理打点が割り振られるたびに処理時間が最大値と比較されれば、確実に最大値が示す最大作業時間内に処理される未処理打点のみが1スポット溶接ガンに割り振られることができる。

【0014】前記処理時間は、例えば、1対の未処理打点間で費やされるスポット溶接ガンの2点間移動時間を示す移動時間データを用いて算出されればよい。一般に、1対の未処理打点間の距離が異なったり、未処理打点間でスポット溶接ガンのアプローチ方向が異なったりすれば、それらの未処理打点間でスポット溶接ガンが費やす移動時間も異なってくる。したがって、2点間移動時間を考慮して処理時間を算出すれば、生産ラインの実情に則した信頼性の高いシミュレーション結果を提供することができるのである。

【0015】2点間移動時間は全ての1対の未処理打点間で共通に設定されてもよい。その一方で、作業配分シミュレーション方法は、付与された打順に従って相前後する1対の未処理打点に対してスポット溶接ガンのアプローチ方向を規定するベクトルを特定する工程と、ベクトル同士の位置関係を検出する工程と、検出された位置関係に基づいて、溶接ロボットの姿勢変化の有無を判断する工程とを備えてもよい。こうして姿勢変化の有無に応じて2点間移動時間を区別することができれば、シミュレーション結果の信頼性を高めることができる。

【0016】この場合には、姿勢変化がないと判断されると、短ピッチ移動時間データで示されるスポット溶接ガンの短ピッチ移動時間を用いてスポット溶接ガンの前記処理時間が算出される。短ピッチ移動時間データによれば、2未処理打点間でスポット溶接ガンを直線的に移動させることができる場合のスポット溶接ガンの2点間移動時間が特定される。全ての該当する2未処理打点の組み合わせに対して共通に短ピッチ移動時間データが設定されれば、一義的に処理時間を算出することができ、シミュレーション方法の計算処理を簡略化することができる。その一方で、短ピッチ移動時間データは該当する2未処理打点の組み合わせに対して個別に設定されてもよい。シミュレーション結果の信頼性を一層高めることができるからである。例えば、短ピッチ移動時間データは2未処理打点間の距離に比例して設定されればよい。

【0017】また、姿勢変化があると判断されると、姿勢変化時間データで示される溶接ロボットの姿勢変化時間を用いてスポット溶接ガンの前記処理時間が算出される。姿勢変化時間データによれば、2未処理打点間で直線的にスポット溶接ガンを移動させることができず、一方の未処理打点を処理後に一旦ワークからスポット溶接ガンを後退させ、他方の未処理打点に向けてスポット溶接ガンを前進させる必要がある場合のスポット溶接ガンの2点間移動時間が特定される。全ての該当する2未処理打点の組み合わせに対して共通に姿勢変化時間データが設定されれば、一義的に処理時間を算出することができ、シミュレーション方法の計算処理を簡略化することができる。その一方で、姿勢変化時間データは該当する2未処理打点の組み合わせに対して個別に設定されてもよい。生産ラインの実情に則した信頼性の高いシミュレ

ーション結果を提供することができるからである。例えば、姿勢変化時間データはスポット溶接ガンのアプローチ方向の角度偏差に比例して設定されればよい。

【0018】さらにまた、前記未処理打点群を特定するにあたって、作業配分シミュレーション方法は、前記打点データで示される未処理打点ごとに、前記ワークの特性によって必然的に決定される打順を特定する打順データを取得する工程と、前記打順データに基づき、打順の若い未処理打点を優先的に前記未処理打点群に含ませる工程とを備えてもよい。一般に、ワーク上では、任意の構成部材に覆われてしまう打点が存在することがある。こういった打点は、ワークにそういった構成部材が取り付けられる以前に処理されなければならない。打順データによってそういった必然的な打順が特定されれば、ワークに必然的に生じる順番に従って未処理打点を割り振ることが可能となる。こうして必然的な打順に従って前記未処理打点群が特定されれば、処理作業の実情に則した信頼性の高いシミュレーション結果を提供することができることとなる。

【0019】本発明に係る作業配分シミュレーション方法では、以上のように未処理打点群を特定するにあたってガンデータや作動範囲データ、打順データを用いたり処理時間を算出したりすることができる一方で、1スポット溶接ガンごとに未処理打点を割り振るにあたっても同様にガンデータや作動範囲データ、打順データを用いたり処理時間を算出したりすることができる。その結果、シミュレーション結果の信頼性を一層高めることができるのである。

【0020】例えば、本発明に係る作業配分シミュレーション方法は、各スポット溶接ガンごとに作動範囲を示す作動範囲データを取得する工程と、前記未処理打点を割り振るにあたって、前記配置データに基づき、前記指定された1スポット溶接ガンごとに作動範囲データで示される作動範囲を前記ワーク上に投影する工程と、前記打点データに基づき、投影された作動範囲に含まれる未処理打点を選択する工程とを備えてもよい。かかる処理工程によれば、前述した通り、作動範囲に含まれる未処理打点を簡単に抽出することができ、こうして抽出された未処理打点を1スポット溶接ガンに割り振ることが可能となる。

【0021】また、作業配分シミュレーション方法は、前記選択された未処理打点に打順を付与する工程と、打順に従って順番に現未処理打点を指定する工程と、現未処理打点が指定されると、現未処理打点までに前記指定された1スポット溶接ガンが費やす処理時間を算出する工程と、算出された処理時間が前記指定された作業時間値に達するか否かを判定する工程とをさらに備えることができる。かかる処理工程によれば、前述した通り、作業時間値が示す最大作業時間内に処理される未処理打点のみが1スポット溶接ガンに割り振られることができ

る。

【0022】さらに、作業配分シミュレーション方法は、前記打点データで示される未処理打点ごとに、前記ワークの特性によって必然的に決定される打順を特定する打順データを取得する工程と、前記打順データに基づき、打順の若い未処理打点を優先的に前記指定された1スポット溶接ガンに割り振る工程とをさらに備えることができる。かかる処理工程によれば、前述した通り、ワークに必然的に生じる順番に従って未処理打点を1スポット溶接ガンに割り振ることができる。

【0023】以上の生産ラインの作業配分シミュレーション方法は、前述した通り溶接ロボットが配置される生産ラインに適用されることができるだけでなく、広く一般の生産ラインに適用されることができる。すなわち、本発明に係る生産ラインの作業配分シミュレーション方法は、ワーク上の全ての未処理作業点の位置を示す作業点データを取得する工程と、1作業ツールの最大作業時間を示す複数の作業時間値を含む作業時間データを取得する工程と、作業時間値の最大値が指定されると、前記作業点データに基づき、最大値が示す最大作業時間内に1作業ツールで処理される未処理作業点群を特定する工程と、特定された未処理作業点群に基づいて、1生産ラインに沿って作業ツールの配置を特定する配置データを作成する工程と、前記最大値以外の作業時間値が指定されると、前記配置データに基づき、生産ラインの上流側から順番に1作業ツールを指定する工程と、1作業ツールが指定されると、前記配置データおよび作業点データに基づき、前記指定された作業時間値が示す最大作業時間内に処理される未処理作業点を前記指定された1作業ツールに割り振る工程とを備えることができる。

【0024】ここで、作業ツールは、少なくとも2部材を互いに接合する接合ツールであればよく、そういった接合には、少なくとも、溶接、ボルト打ちおよびリベット打ちのいずれか1つが含まれることができる。ただし、これらの用途に限定されるわけではない。

【0025】なお、以上の生産ラインの作業配分シミュレーション方法はコンピュータを利用したソフトウェア処理によって実施されることができる。しかも、本発明に係る生産ラインの作業配分シミュレーション方法を実行するソフトウェアは、FD（フロッピーディスク）やCD（コンパクトディスク）、DVD（デジタルビデオディスク）といった可搬性の記録媒体に格納されて配布されることができる。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照しつつ本発明の一実施形態を説明する。

【0027】図1は自動車の車体フレームを製造する生産ラインの一具体例を示す。この生産ライン10は、例えば、車体フレーム11を構成する構成部材同士を少数のスポット溶接打点で接合し、車体フレーム11の骨組

みを組み立てる組み立てライン12と、スポット溶接打点を打ち増して、組み立てられた骨組みの接合強度を向上させるいわゆる「増し打ちライン」13とを備える。例えば、増し打ちライン13には、入り口から出口に向かって9つの作業ステーション13a～13iが設定される。各作業ステーション13a～13iには複数台の溶接ロボット14が配置される。こうした溶接ロボット14の配置は、後述するように、例えば本発明に係る生産ラインの作業配分シミュレーション方法によって決定されることができる。

【0028】生産ライン10には、全ての作業ステーション13a～13iを通過するライン搬送装置16が設けられる。このライン搬送装置16は、生産ライン10に沿って同期して間欠的に移動する複数の台車17を備える。各台車17は、所定の搬送時間 T_t で、例えば各作業ステーション13a～13iから次の作業ステーションに移動する。作業ステーション13a～13iでは、台車17は、所定のタクト時間 T_q その位置に停止する。この停止の間に、各溶接ロボット14に装着されたスポット溶接ガンが作業を実施する。台車17に搭載された車体フレーム11すなわちワークは、それらの移動および停止を繰り返しながら控え位置 P_s から最終位置 P_f まで運ばれ完全な車体フレーム11に仕上げられていく。搬送時間 T_t は、一般に、台車17を移動させるライン搬送装置16の搬送速度によって規定される。

【0029】例えば図2に示されるように、各溶接ロボット14は、先端にスポット溶接ガン19が装着される例えば1本のアーム20を備える。スポット溶接ガン19の移動は、アーム基点21に対するアーム20の進退運動 M_a 、首振り運動 M_b および回転運動 M_c によって規定される。スポット溶接ガン19の移動範囲の最外縁によって、溶接ロボット14のリーチに基づく作動範囲 O_a は規定される。ただし、溶接ロボット14のアーム20は1以上の関節を備えていてもよい。

【0030】スポット溶接ガン19には、例えば図3に示されるように、様々な形態のものSCA、SCB…が存在する。車体フレーム11上のスポット溶接打点の位置や向き、スポット溶接される打点の接合強度を始めとする様々な要因によって各スポット溶接打点に使用されるスポット溶接ガン19の種類は異なる。各溶接ロボット14に装着されるスポット溶接ガン19の形態SCA、SCB…は、後述するように、例えば本発明に係る生産ラインの作業配分シミュレーション方法によって決定されることができる。

【0031】各溶接ロボット14は、タクト時間 T_q 内に全ての作業を完了しなければならない。各溶接ロボット14の作業に必要なとされる作業時間は、例えば図4に示されるように、第1打点に対してスポット溶接ガン19を接近させる際に費やされる前進時間 T_f や、最終打点からスポット溶接ガン19を離反させる際に費やされ

10

20

30

40

50

る後退時間 T_b のほか、1対の打点間でスポット溶接ガン19を移動させる際に費やされる短ピッチ移動時間 T_p および姿勢変化時間 T_c といった2点間移動時間によって特定されることができる。例えば、同一平面上に配置される連続した1対の打点間で直線的にスポット溶接ガン19を移動させることができる場合には、短ピッチ移動時間 T_p が2点間移動時間に適用される。1対の打点間でスポット溶接ガン19を移動させるにあたって、1対の打点間で直線的にスポット溶接ガン19を移動させることができず、一方の打点を処理後に一旦車体フレーム11からスポット溶接ガン19を後退させ、他方の打点に向けてスポット溶接ガン19を再び前進させる必要がある場合には、姿勢変化時間 T_c によって2点間移動時間が特定される。これらの移動時間パラメータは、一般に、アーム20を駆動するサーボモータ（図示せず）の作動速度によって規定される。同時に、作業時間には、スポット溶接ガン19に対する通電時間、ホールド時間およびI/F（インターフェース）時間の総計によって算出される溶接時間 T_w やガン開閉時間 T_g といったパラメータが含まれることができる。

【0032】いま、例えば図5に示される車体フレーム11を製造するために新たに増し打ちライン13を構築する場合を考える。車体フレーム11上には、構成部材同士の接合強度を考慮して複数個のスポット溶接打点23が設定される。スポット溶接打点23は、後述する生産ラインの作業配分シミュレーション方法の計算処理を簡略化するためにグループ化される。

【0033】図6は、本発明に係る生産ラインの作業配分シミュレーション方法を実現するCAD/CAM（コンピュータ支援設計製造）システム24を示す。このCAD/CAMシステム24は、例えばCD（コンパクトディスク）やFD（フロッピーディスク）といった可搬性の記録媒体25からシミュレーションソフトウェアを取り込み、取り込んだシミュレーションソフトウェアを実行するコンピュータ本体26を備える。シミュレーションソフトウェアの実行にあたって、コンピュータ本体26は、キーボードやマウスといった入力装置27や、例えばディスクアレイ装置28によって構築されるデータベースから必要な情報を受け取る。シミュレーションの結果は、ディスプレイ装置やプリンタ装置といった出力装置29を通じて作業者に提示される。

【0034】このシミュレーションソフトウェアによれば、1作業ステーション当たり許容されるタクト時間 T_q すなわち最大作業時間の最大値が指定されると、まず、その最大値が示す最大作業時間をフルに活用すべく各スポット溶接ガンに未処理打点の処理が配分される。この配分によって生産ライン10に沿ってスポット溶接ガン19の配列が決定される。続いて、最大値よりも小さい作業時間値を用いて各スポット溶接ガン19に未処理打点の処理が再配分される。その結果、多くの未処理

打点が配分されたいわゆる稼働率の高いスポット溶接ガン19では、最大値が示す最大作業時間内であれば処理される未処理打点の中から、最大値より小さい作業時間値が示す最大作業時間内に処理しきれない未処理打点が生じることがある。こうした未処理打点は、再配分時に、最大作業時間に対して稼働率に余裕のある他のスポット溶接ガンに配分し直される。その結果、生産ライン10全体を通じてスポット溶接ガンの打点配分すなわち稼働率が平坦化される。

10 【0035】この作業配分シミュレーション方法が実行されると、後述するように、スポット溶接ガン19ごとに、スポット溶接打点23の配分結果と各スポット溶接打点23の打順とが特定されることができる。特定された配分結果と打順とは、コンピュータ本体26に接続されるオフラインティーチシステム30に受け渡されることができる。このオフラインティーチシステム30によれば、各溶接ロボット14ごとに、受け取った配分結果と打順とに基づきスポット溶接ガン19の移動経路が決定されることができる。

20 【0036】こうした移動経路の決定にあたっては、作業者の手で、溶接ロボット14に装着されたスポット溶接ガン19が実際に動かされる。作業者は、受け取った打順に従ってスポット溶接打点23を次々に連結するようにスポット溶接ガン19を移動させればよい。コントローラ31は、スポット溶接ガン19の移動に必要とされるアーム20の進退運動 M_a 、首振り運動 M_b および回転運動 M_c を特定し記憶する。

30 【0037】こうした移動経路の覚え込ませすなわちオフラインティーチは、例えば生産ライン10に沿って実際に溶接ロボット14が配置された場合のように、溶接ロボット14と車体フレーム11との位置関係を確認しながら行われる。実際に生産ライン10が稼働すると、コントローラ31は、記憶したアーム20の進退運動 M_a 、首振り運動 M_b および回転運動 M_c に従って溶接ロボット14を作動させ、作業者が設定した移動経路に従ってスポット溶接ガン19を移動させる。

40 【0038】こうしてオフラインティーチシステム30で移動経路が決定されると、決定された実際の移動経路に基づいて、個別具体的に、前述した前進時間 T_f や後退時間 T_b 、短ピッチ移動時間 T_p 、姿勢変化時間 T_c といったスポット溶接ガンの移動時間を正確に求めることができる。求められた移動時間は、後述するように、データベースにフィードバックされることができる。

50 【0039】シミュレーション結果には、特定された打順に従ってスポット溶接打点23を次々に連結する仮想移動経路が含まれてもよい。こうした仮想移動経路を用いれば、作業者がコントローラ31にスポット溶接ガン19の動きを覚え込ませるに先立って、スポット溶接ガン19の動きを作業者の目に確認させることができる。作業者は、確認した移動経路を土台に、自らの経験則を

加え、新たに最適な移動経路を設定することができる。その結果、オフラインティーチにおける作業者の負担は軽減される。

【0040】次に、シミュレーションソフトウェアの実行に必要なとされるデータベースの構造を詳述する。図6に示されるように、データベースは設備データ32、ワークデータ33およびオフラインティーチデータ34に大きく分けられる。設備データ32には、増し打ちライン13に付帯する設備の三次元CADデータや、スポット溶接ガン19の形態ごとに固有の占有空間を示す占有空間データが含まれる。設備の三次元CADデータを用いれば、シミュレーションによって決定される増し打ちライン13に沿った溶接ロボット14の配置が特定されることができる。溶接ロボット14の配置は、例えば、溶接ロボット14が所属する作業ステーション13a~13iの識別子と、各作業ステーション13a~13iに仮想的に設定された三次元座標軸に基づく三次元座標値とによって特定されればよい。

【0041】占有空間データは、作業時にスポット溶接ガン19が占有可能な最大占有空間を特定する。占有空間は、例えば図7に示すように、スポット溶接打点23を中心に描かれ、スポット溶接ガン19をすっぽりと囲む規定半径rの球面によって規定されればよい。こうした占有空間は、スポット溶接打点23の三次元座標と半径rの大きさによって簡単に特定されることができる。その一方で、スポット溶接ガン19の形状を示す三次元形状データを用いてこうした占有空間を表現すれば、実際のスポット溶接ガン19の占有空間に則した精度の高い占有空間を特定することができる。

【0042】その他、設備データ32には、前述した搬送時間T_tを一律的に示す搬送時間データや、タクト時間T_qを一律的に示すタクト時間データが含まれる。タクト時間データすなわち作業時間データによって1作業ステーション当たりの最大作業時間すなわち各溶接ロボット14の最大作業時間が特定される。

【0043】ワークデータ33には、ワークすなわち車体フレーム11上の全ての未処理打点の位置を示す打点データや、打点データで示される未処理打点ごとに、車体フレーム11の特性によって必然的に決定される打順を特定する打順データ、打点データで示される未処理打点ごとに使用可能なスポット溶接ガン19を特定するガンデータが含まれる。

【0044】打点データは、例えば図8および図9に示されるように、各スポット溶接打点23の位置を三次元座標(T, B, H)によって特定する。座標Tは、例えば基準点CCを基準に車体前後方向位置を規定する。座標Bは、基準点CCを基準に車体幅方向位置すなわち奥行き方向位置を規定する。座標Hは、基準点CCを基準に車体の高さ方向位置を規定する。こうした打点データは、例えばCAD/CAMシステム24に取り込まれる

車体フレーム11の三次元設計データに基づいて算出されればよい。なお、図8および図9では、説明の便宜上、座標Bは無視されている。

【0045】図5を併せて参照すると明らかなように、この打点データでは、大分類「A」~「K」によって車体フレーム11の部位ごとに未処理打点群が大まかに分類される。各大分類「A」~「K」は、同一のスポット溶接ガン19で連続的に処理可能な未処理打点群を示す中分類「A1」~「K3」に細分化される。この細分化は、スポット溶接ガン19のアプローチ方向やガン開閉時の姿勢に基づいて行われればよい。小分類「A1-1」~「K3-2」は、5打点を目安に未処理打点群をグループ化し、打点位置の明確化を図っている。打点データには、小分類「A1-1」~「K3-2」ごとに、所属する未処理打点の打点数および中央位置の三次元座標値が示される。ただし、このように未処理打点がグループ化される必要は必ずしもなく、全ての未処理打点が個々に独立に取り扱われてもよい。

【0046】また、車体フレーム11では、任意の構成部材に覆われてしまう打点23が存在する。こういった打点23は、車体フレーム11にそうした構成部材が取り付けられる以前に処理されなければならない。打順データは、例えば図8および図9に示されるように、そういった打点23の処理順番を特定する。図8および図9では、順番付けが必要となる打点に「1」「2」「3」といった順番が表示され、順番に関係なく処理可能な打点には「-1」が表示されている。

【0047】打点データには、さらに、各未処理打点に必要なとされる溶接時間T_wを示す溶接時間データ(図示せず)が付加される。溶接時間データは、1小分類「A1-1」~「K3-2」ごとに、その小分類に所属する未処理打点に共通に溶接時間T_wを特定してもよい。

【0048】ガンデータは、例えば図10に示されるように、各中分類「A1」~「K3」ごとに使用可能なスポット溶接ガンの種類SCA、SCB...を特定する。車体フレーム11上のスポット溶接打点23の位置や向き、スポット溶接される打点23の接合強度を始めとする様々な要因によって各スポット溶接打点23の処理に使用されるべきスポット溶接ガン19の種類は異なる。図10から明らかなように、1つの中分類「A1」~「K3」に対して複数の種類SCA、SCB...のスポット溶接ガン19が特定されていてもよい。

【0049】オフラインティーチデータ34には、1溶接ロボット14と1スポット溶接ガン19との組み合わせごとに、スポット溶接ガン19の作動範囲O_aを示す作動範囲データや、スポット溶接ガン19のガン開閉時間T_gを示すガン開閉時間データのほか、スポット溶接ガン19の移動時間を示す移動時間データが含まれる。

【0050】作動範囲データは、例えば、アーム基点21に原点が設定された各溶接ロボット14固有の三次元

座標軸に基づく三次元座標値によって作動範囲O aを特定する。作動範囲O aは、例えばアーム基点2 1を中心に描かれ、アーム2 0のリーチを半径とした球面によって規定されればよい。こうした作動範囲O aは、アーム基点2 1の三次元座標とアーム2 0のリーチの大きさによって簡単に特定されることができる。その一方で、溶接ロボット1 4の各関節作動域を考慮した三次元のキネマティクス解でこうした作動範囲O aを表現すれば、実際のスポット溶接ガン1 9の作動範囲に則した厳密な作動範囲O aを特定することができる。

【0 0 5 1】移動時間データには、前進時間T fを示す前進時間データや、後退時間T bを示す後退時間データ、短ピッチ移動時間T pを示す短ピッチ移動時間データ、姿勢変化時間T cを示す姿勢変化時間データが含まれる。前進時間データや後退時間データは、全ての未処理打点に共通に前進時間T fや後退時間T bを特定することができる。短ピッチ移動時間データや姿勢変化時間データは、1対の未処理打点のあらゆる組み合わせに対して共通に短ピッチ移動時間T pや姿勢変化時間T cを特定することができる。こうした移動時間データを用い

れば、作業配分シミュレーション方法の計算処理は軽減される。

【0 0 5 2】その一方で、前進時間データや後退時間データは、各未処理打点ごとに個別に前進時間T fや後退時間T bを特定することができ、短ピッチ移動時間データや姿勢変化時間データは、1対の未処理打点のあらゆる組み合わせに対して個別に2点間移動時間すなわち短ピッチ移動時間T pや姿勢変化時間T cを特定することができる。こうした移動時間データは、例えば各溶接ロボット1 4ごとに、各関節の加減速に基づいて個別に推

定されればよい。その他、短ピッチ移動時間データはスポット溶接打点2 3間の距離に比例して設定されてもよく、姿勢変化時間データは2つのスポット溶接打点2 3に対する距離およびアプローチ方向の角度偏差に比例して設定されてもよい。しかも、これらの移動時間データは、前述したようにオフラインティーチシステム3 0で求められた前進時間T fや後退時間T b、短ピッチ移動時間T p、姿勢変化時間T cで置き換えられることができる。こうした移動時間データを用いれば、シミュレーション結果の信頼性を高めることができる。

【0 0 5 3】次に本発明に係る生産ラインの作業配分シミュレーション方法を詳述する。図1 1に示されるように、CAD/CAMシステム2 4のコンピュータ本体2 6はステップS 1で設備データ3 2やワークデータ3 3、オフラインティーチデータ3 4を取得する。続いてステップS 2で、コンピュータ本体2 6は、オペレータに可変データの指定を促す。入力を促されたオペレータは、入力装置2 7を用いて、1作業ステーション当たり

に許容される溶接ロボット1 4の許容台数や、各溶接ロボット1 4に装着されるスポット溶接ガン1 9の作動範囲を指定する。指定された許容台数は許容台数データとして取り込まれる。許容台数は例えば1以上の整数Nで表現されればよい。作動範囲データは、前述したオフラインティーチデータ3 4から取り込まれる。作業者が溶接ロボット1 4の種類を指定すると、指定された種類の溶接ロボット1 4に関するアーム基点2 1の三次元座標値やアーム2 0のリーチの大きさが特定されるのである。

【0 0 5 4】必要な情報を受け取ったコンピュータ本体2 6は、ステップS 3で、前述の打点データ、打順データおよびガンデータに基づいて、作業時間データが示す最大作業時間内に1スポット溶接ガン1 9で処理される未処理打点群を特定する。未処理打点群の特定工程の詳細は後述される。かかる特定によって、後述するように、1作業ステーションごとに、配置される溶接ロボット1 4の台数や、各溶接ロボット1 4に装着される1スポット溶接ガン1 9に配分される未処理打点群が決定される。この時点では、例えば図1 2に点線で示されるように、第1作業ステーション1 3 aの第1溶接ロボット1 4から順番に、最大作業時間を最大限に活かして未処理打点が割り振られていく。その結果、図1 2から明らかなように、多くの未処理打点が割り振られて稼働率の高い溶接ロボットすなわちスポット溶接ガン1 9と、少ない未処理打点しか割り振られず稼働率の低い溶接ロボットすなわちスポット溶接ガン1 9との間で稼働率に大きな開きが生じることがある。

【0 0 5 5】ステップS 4では、特定された未処理打点群に基づいて、1生産ラインに沿ってスポット溶接ガン1 9の配置を特定する配置データが作成される。この配置データによれば、増し打ちライン1 3に沿った溶接ロボット1 4の配置と、各溶接ロボット1 4に装着される1スポット溶接ガン1 9の種類とが特定される。その結果、増し打ちライン1 3に沿ったスポット溶接ガン1 9の配置が明らかとなるのである。

【0 0 5 6】配置データは、例えば、溶接ロボット1 4が所属する作業ステーションの識別子と、各作業ステーションに仮想的に設定された三次元座標軸に基づく三次元座標値とによって各溶接ロボット1 4の位置を特定する。各作業ステーションでは、車体フレーム1 1が作業ステーションに停止した際に未処理打点群に含まれる全ての未処理打点にスポット溶接ガン1 9を届かせることができる位置に溶接ロボット1 4が配置されればよい。

【0 0 5 7】その後、ステップS 5で、作業時間データで示される最大作業時間に基づいて1作業時間値が指定される。この1作業時間値は、作業時間データで示される最大作業時間から任意の刻み値を差し引くことによって算出されればよい。

【0 0 5 8】続いてステップS 6で、配置データおよび打点データに基づき、指定された1作業時間値が示す最大作業時間内に処理される未処理打点が各スポット溶接

10

20

30

40

50

ガン19に割り振られていく。この割り振り工程の詳細は後述される。この割り振り工程では、最大作業時間が短縮されることから、いわゆる稼働率の高い1スポット溶接ガン19では、短縮前に配分された未処理打点群の中から短縮後の最大作業時間内に処理しきれない未処理打点が生じることがある。こうした未処理打点は、短縮後に最大作業時間に対して稼働率に余裕のある他のスポット溶接ガン19に割り振り直される。その結果、増し打ちライン13全体を通じて、スポット溶接ガン19に対する打点配分が平坦化されるのである。

【0059】このような最大作業時間の短縮化を実施すると、例えば図12の実線で示されるように、溶接ロボット14すなわちスポット溶接ガン19の稼働率が平均化される。任意の条件の下で、作業時間データで示される最大作業時間に対して80%の作業時間値が設定された結果、短縮前に著しく稼働率が低下していた溶接ロボット「14」「24」「34」「43」「44」「61」の稼働率が高められたのである。しかも、短縮前に稼働率が高い溶接ロボット14の稼働率は高いレベルに維持されることができる。

【0060】ステップS7では、打点データで示される全ての未処理打点が配置データで示されるスポット溶接ガン19に完全に割り振られた否かが判断される。1つでも未処理打点が割り振られなかったことが判明すると、ステップS8に進み、処理は終了する。ここでは、最大作業時間が短くなると、ステップS4で決定されたスポット溶接ガン19の配置では完全に打点23を処理することができないことが明らかとなる。打点配分の平坦化に失敗し、ステップS3で得られた打点配分が出力される。

【0061】全ての未処理打点がいずれかのスポット溶接ガン19に完全に割り振られたことが確認されると、ステップS9に進み、ステップS6の割り振り工程で平坦化された打点配分結果が登録される。その結果、ステップS3で取得された打点配分が新たな打点配分によって更新されることとなる。

【0062】続いてステップS10で次作業時間値が指定される。この次作業時間値は、ステップS5で指定された作業時間値から前述の刻み値を差し引くことによって得られればよい。その後、処理はステップS6に戻る。

【0063】ステップS6～S10の処理が繰り返される結果、作業時間データで示される最大作業時間の最大値が刻み値によって段階的に引き下げられ、最大作業時間が引き下げられるたびに未処理打点の割り振り（ステップS6）が試される。したがって、1つでも未処理打点が割り振られずに残存したことがステップS7で明らかとなった時点で、全ての未処理打点が配置データで示されるスポット溶接ガン19に完全に割り振られる最大作業時間の最小値すなわち作業時間値の最小値が明らか

となる。処理は終了し、最後に登録された打点配分がステップS8で出力される。最小値が示す最大作業時間内に基づいて未処理打点が割り振られると、最大限に平坦化された打点配分が得られることとなるのである。

【0064】図13を参照しつつ未処理打点群の特定工程を詳述する。いま、図11のステップS2で許容台数データ=3が取得された場合を考える。コンピュータ本体26は、ステップT1で、作業ステーション数STの初期値=1を記憶する。ステップT2では、記憶された作業ステーション数STの値に応じて1作業ステーションが指定される。この指定によって、まず、第1作業ステーション13aが指定される。

【0065】第1作業ステーション13aが指定されると、ステップT3で、溶接ロボット数RBの初期値=1が記憶される。ステップT4では、記憶された溶接ロボット数RBに応じてその作業ステーション内で1溶接ロボットが指定される。この指定によって、第1作業ステーション13a内の第1溶接ロボットが指定される。この時点で、例えば図14に示されるように、打点配置結果データ41の溶接ロボット指定欄42には、第1作業ステーション13aの第1溶接ロボットを示す「11」が登録される。

【0066】第1溶接ロボットが指定されると、ステップT5で、その第1溶接ロボットに未処理打点が配分される。この打点配分の検討工程の詳細は後述される。配分された未処理打点は、図15に示されるように、小分類「A1-1」～「K3-2」単位で打点配置結果データ41の打順欄44に登録される。登録される数値によって打順が特定される。付随するカッコ内の数値は、その小分類に含まれる未処理打点数を示している。打点データ上では、割り振られた未処理打点は消去される。

【0067】こうして打点配分が決定されると、ステップT6で、第1作業ステーション13aの第1溶接ロボットの配置と、その第1溶接ロボットに装着されるスポット溶接ガン19の種類とが登録される。こうして登録された溶接ロボットの配置やスポット溶接ガン19の種類は、図11のステップS4で作成される配置データに取り込まれることとなる。

【0068】ステップT7では、配分された未処理打点に対して占有領域が設定される。1スポット溶接ガン19が1スポット溶接打点23を処理する間、その1スポット溶接ガン19の占有領域に存在する他のスポット溶接打点23を他のスポット溶接ガン19が処理することはできない。他のスポット溶接ガン19がその占有領域に侵入すると、スポット溶接ガン19同士が衝突してしまうからである。この占有領域の設定によれば、同一の作業ステーション内で同居する他のスポット溶接ガン19が踏み込めない干渉領域が画定されることとなる。

【0069】例えば溶接ロボット「11」に対して未処理打点の小分類「H3」「B1-1」～「B1-3」

「A6-1」～「A8」が割り振られると、図16に示されるように、それらの未処理打点の占有領域45が設定される。こうした占有領域45は、設備データ32に含まれる占有空間データに基づいて規定されるスポット溶接ガン19の占有空間を車体フレーム11に投影させることによって画定されればよい。球面によって占有空間が表現されていれば、未処理打点の三次元座標値と規定半径 r とによって簡単に占有空間を車体フレーム11に投影させることができる。その一方で、スポット溶接ガン19の形状を示す三次元形状データで占有空間が表現されていれば、占有領域を一層厳密に画定することができ、シミュレーション結果の信頼性を高めることができる。この占有領域45が設定された後、同一作業ステーション13a内で新たに溶接ロボット14が指定されると、占有領域45に含まれる未処理打点は新たに指定された溶接ロボット14には配分されない。

【0070】第1溶接ロボットに対する未処理打点の配分が完了すると、ステップT8で溶接ロボット数RBが計数される。ステップT9では、計数された溶接ロボット数RBが許容台数データで示される許容台数=3と比較される。溶接ロボット数RBが許容台数=3を超えないので、ステップT4に戻って、溶接ロボット数RBの値に基づいて新たに第2溶接ロボットが指定される。この指定によって、図17に示すように、第1作業ステーション13a内の第2溶接ロボットを示す「12」が打点配置結果データ41の溶接ロボット指定欄42に登録される。第2溶接ロボットが指定されると、ステップT4～T9の処理が実施される。

【0071】ステップT4～T9の処理は、ステップT9で計数される溶接ロボット数RBが許容台数=3を超えるまで繰り返される。溶接ロボット数RBが許容台数=3を超えた時点で、第1作業ステーション内の3つの溶接ロボット「11」「12」「13」に対して未処理打点の配分が完了される。

【0072】ステップT8で計数された溶接ロボット数RBが許容台数を超えると、ステップT10で作業ステーション数STが計数される。続いて、ステップT11で、1作業ステーションに対して設定されていた占有領域45が解除される。この解除によって、新たな作業ステーションに対して占有領域45が白紙化される。その後、ステップT12で、打点データ内に未処理打点が残存するか否かが判断される。未処理打点が残存していれば、ステップT2に戻って、作業ステーション数STの値に基づいて新たに1作業ステーションが指定される。この指定によって、第2作業ステーション13bが指定されることとなる。

【0073】第2作業ステーション13bが指定されると、ステップT3、T4で、第2作業ステーション13b内の第1溶接ロボットを示す「21」が打点配置結果データ41の溶接ロボット指定欄42に登録される。こ

の第2作業ステーション13bに対してステップT4～T9の処理が繰り返される結果、第2作業ステーション13b内の3つの溶接ロボット「21」「22」「23」に対して配分された未処理打点が打点配置結果データ41に登録される。

【0074】第2作業ステーション13bに対して未処理打点の登録が完了すると、再びステップT2に戻って新たに1作業ステーションが指定される。この指定によって第3作業ステーション13cが指定されることとなる。その結果、この第3作業ステーション13cに対してステップT3～T11の処理が実施される。

【0075】こうしてステップT2～T12の処理が繰り返され、車体フレーム11上の全ての未処理打点が打点配置結果データ41に登録される。その結果、配分されるべき未処理打点が存在しないことがステップT12で検出され、ステップT13で打点配置結果データ41が出力される。このとき、ステップT6で登録された溶接ロボット14の配置は配置データに引き渡される。各溶接ロボット14の配置が引き渡されると、図11のステップS4で、前述した通り配置データが作成されるのである。

【0076】なお、ステップT9で溶接ロボット数RBが許容台数を超えるまでに、干渉などの影響によって、未処理打点が残存するにも拘らず未処理打点が全く割り振られない溶接ロボット14が存在することがある。こうした場合には、残存した未処理打点の配分は次作業ステーションに持ち越される。溶接ロボット指定欄42に記入された溶接ロボット14の指定は取り消されればよい。

【0077】次に、図13のステップT5における打点配分の検討工程を詳述する。この工程では、例えば図18に示されるように、ステップP1で、図11のステップS1で取得された打順データに基づいて、各未処理打点の打順が検索される。検索の結果、最も若い打順「1」に相当する未処理打点が抽出される。こうしてステップP2以降で、打順の若い未処理打点が優先的に1溶接ロボット14に配分されていくことになる。

【0078】ステップP2では、1作業ステーション内で既に設定された占有領域45が検出される。検出された占有領域45以外の領域から、ステップP1で特定された打順の未処理打点群が呼び出される。特定された打順の全ての未処理打点が占有領域45に含まれる場合には、打順に関係のない打順「-1」の未処理打点が呼び出されることとなる。

【0079】ステップP3では、呼び出された未処理打点群の中から、図13のステップT4で指定された1溶接ロボット14に対して最初に配分されるべき第1未処理打点が抽出される。抽出された第1未処理打点に対して溶接ロボット14が位置決めされる。位置決めにあたっては、作業ステーションに停止する車体フレーム11

の三次元座標空間に対して溶接ロボット14固有の三次元座標空間が取り込まればよい。第1未処理打点の抽出工程の詳細は後述される。

【0080】第1未処理打点が抽出されると、ステップP4で、図11のステップS1で取得されたガンデータに基づいて、その第1未処理打点に適したデフォルトの1スポット溶接ガン19が指定される。指定されたスポット溶接ガン19を示す識別子「MCF」は、図19に示すように、打点配置結果データ41の使用ガン欄43に登録される。

【0081】ステップP5で、指定されたスポット溶接ガン「MCF」で処理される未処理打点が抽出され、抽出された未処理打点が1溶接ロボット14に割り振られる。この打点配分の決定工程の詳細は後述される。

【0082】図20に示すフローチャートを参照し、図18のステップP3における第1未処理打点の抽出工程を詳述する。この工程では、図18のステップP2で呼び出された未処理打点の中から、例えば、車体フレーム11に設定された任意の基準点CCから最も離れた未処理打点が抽出される。全ての未処理打点に対して基準点CCからの距離DBが算出され、算出された距離DBの一番大きな未処理打点が選択されるのである。基準点CCには、例えば図5に示されるように、三次元座標軸TBHに対して車体フレーム11の中心座標(0, 0, 0)が選択されればよい。

【0083】まず、ステップQ1でパラメータDA=0が設定される。ステップQ2では、基準点CCの三次元座標(0, 0, 0)に対する1未処理打点(T, B, H)の距離DBが算出される。ステップQ3で、算出された距離DBがパラメータDAを超えていれば、ステップQ4で、算出された距離DBの値がパラメータDAに置き換えられる。パラメータDAが置き換えられると、ステップQ5で、その未処理打点PPの三次元座標(T, B, H)が記憶される。続いてステップQ6で次の未処理打点を探しに行く。

【0084】ステップQ3で、算出された距離DBがパラメータDAを超えなければ、パラメータDAを置き換えずに次の未処理打点を探しに行く(ステップQ6)。その結果、常に基準点CCから最も離れた未処理打点PPの三次元座標(T, B, H)が記憶され続ける。全ての未処理打点に対する基準点CCからの距離が算出されると、ステップQ7で、記憶された未処理打点が三次元座標(T, B, H)で特定されることとなる。打点配置結果データ41の打順欄44では、例えば図19に示されるように、特定された第1未処理打点に対して打順「1」が登録される。

【0085】次に図21に示すフローチャートを参照し、図18のステップP5における打点配分の決定工程を詳述する。この決定工程では、まず、ステップU1で、以下の処理で用いられるパラメータT1、T2、T

Oが初期化される。

【0086】ステップU2では、1溶接ロボット14に最初に配分された第1未処理打点に対して、図11のステップS2で指定された作動範囲データで示される作動範囲Oaが画定される。この画定にあたっては、作動範囲データで示される作動範囲Oaが車体フレーム11に対して投影される。作動範囲Oaは、例えば図22に示されるように、第1未処理打点「H2」「K3-2」を中心に作動範囲データで示される半径の球面を車体フレーム11に投影させることによって規定されてもよい。その他、図18のステップP3で車体フレーム11の三次元座標空間に取り込まれた溶接ロボット14の位置を用いれば、溶接ロボットのアーム基点21を中心に描かれる球面や、溶接ロボット14の三次元キネマティクス解に基づいて作動範囲Oaは規定されることができる。

【0087】作動範囲Oaが画定されると、ステップU3で、図18のステップP2で呼び出された未処理打点の中から、その作動範囲Oaに含まれる未処理打点が特定される。その後、ステップU4以下で、特定された未処理打点の中から、指定された1スポット溶接ガン19で処理される未処理打点が抽出される。

【0088】詳述すると、ステップU4で、ガンデータを用いて、指定されたスポット溶接ガン19で次に処理される次未処理打点が決定される。この次未処理打点には、第1未処理打点に最近の未処理打点が選択されればよい。決定された次未処理打点にはステップU5で打順が付与される。次未処理打点の打順「2」は打点配置結果データ41の打順欄44に登録される。

【0089】打順「2」が登録されると、第1未処理打点から第2未処理打点までスポット溶接ガン19が移動する際に費やされる移動時間T1が取得される。未処理打点の組み合わせが特定されれば、前述したとおり、オフラインティーチデータ34によって移動時間T1は特定されることができる。ただし、この場合には、1対の未処理打点のあらゆる組み合わせに対して2点間の移動時間T1を予め登録しておかなければならない。ここでは、溶接ロボットの姿勢変化の有無を判断し、その判断に基づいて短ピッチ移動時間Tpや姿勢変化時間Tcの規定値を用いて簡略的に移動時間T1を導き出すこととする。

【0090】まず、ステップU6で、第1および第2未処理打点47、48に対してスポット溶接ガン19のアプローチ方向を規定するベクトル50、51を設定する。ベクトル50、51は、打点データに含まれる未処理打点の三次元座標値と、この三次元座標値で示される三次元座標点に対して設定されるベクトル値とによって特定されればよい。すなわち、ベクトル値を示すデータを予め打点データに付属させておけばよいのである。こうしたベクトルは、CAD/CAMシステム24に取り込まれる車体フレーム11の三次元設計データや、溶接

10

20

30

40

50

ロボット14のコントローラ31に記憶されるデータ等に基づいて特定されればよい。

【0091】2つのベクトル50、51が比較されると、スポット溶接ガン19の姿勢変化の有無が判断される。例えば図23に示されるように、第1未処理打点47と第2未処理打点48との間でスポット溶接ガン19のアプローチ方向を規定するベクトル50、51同士が平行であれば、図24に示されるように、溶接ロボット14の姿勢変化を起因することなく、2つの未処理打点47、48間でスポット溶接ガン19は直線的に移動することができる。これに対し、例えば図25に示されるようにベクトル50、51同士が平行でなければ、図26に示されるように、第1未処理打点47を処理後に一旦車体フレーム11からスポット溶接ガン19を後退させ、第2未処理打点48に向けてスポット溶接ガン19を前進させる必要がある。したがって、1対のベクトル50、51を比較すれば溶接ロボット14の姿勢変化の有無を判断することができるのである。

【0092】ステップU6で姿勢変化がないと判断されれば、ステップU7で短ピッチ移動時間 T_p の規定値が取得される。その一方で、姿勢変化があると判断されれば、ステップU7で姿勢変化時間 T_c の規定値が取得される。いずれの場合でも、取得された規定値は、2つの未処理打点47、48間で必要とされる短ピッチ移動時間データまたは姿勢変化時間データとしてオフラインティーチデータ34に登録される。こうしてシミュレーションを実行しながら該当する2未処理打点間の移動時間 T_1 が特定されるのである。

【0093】移動時間 T_1 が取得されると、ステップU8で、第1未処理打点47から第2未処理打点48までの総移動時間 T_2 が算出される。ここでは、前回までの総移動時間 $T_2=0$ であるから、移動時間 T_1 がそのまま総移動時間 T_2 に置き換えられる。

【0094】ステップU9では、算出された総移動時間 T_2 に基づいて、第1未処理打点47から第2未処理打点48までの処理時間 T_O が算出される。この算出にあたっては、設備データ32からガン開閉時間データが取得され、ワークデータ33から溶接時間データが取得され、オフラインティーチデータ34から前進時間データや後退時間データが取得される。例えば溶接ロボット14の姿勢が変化しない場合、例えば図24に示すように、処理時間 T_O は、第1未処理打点47までの前進時間 T_f 、第1未処理打点47から第2未処理打点48までの短ピッチ移動時間 T_p 、第2未処理打点48からの後退時間 T_b 、第1および第2未処理打点47、48での溶接時間 T_w およびガン開閉時間 T_g などによって特定される。溶接ロボット14の姿勢が変化する場合、例えば図26に示すように、処理時間 T_O には、図24の短ピッチ移動時間 T_p に代えて、姿勢変化時間 T_c が含まれることとなる。

【0095】算出された処理時間 T_O は、ステップU10で、タクト時間データすなわち最大作業時間データで示される最大作業時間と比較される。処理時間 T_O が最大作業時間を超えていれば、ステップU11に進み、打点配分は完了する。第2未処理打点48の処理が最大作業時間内に終了しないと判断され、第2未処理打点48の割り振りは失敗に終わる。指定された溶接ロボット14には第1未処理打点のみが配分されることとなる。その一方で、処理時間 T_O が最大作業時間を超えていなければ、ステップU12で、第2未処理打点が前未処理打点として登録され、処理工程はステップU4に戻る。

【0096】ステップU4では、再び次未処理打点が検出される。この次未処理打点には、既に割り振られた第2未処理打点48に最近の未処理打点を選択されればよい。検出されなければ、ステップU11に進み、打点配分は完了する。1溶接ロボット14に配分された未処理打点や打順は図13の後工程に引き渡される。こうして打順が特定されれば、打順に従って移動するスポット溶接ガン19の移動経路が設定されてもよい。例えば、2つのベクトル50、51を用いれば、第1未処理打点47に接近する際の移動経路や第2未処理打点48から離反する際の移動経路は特定されることができる。溶接ロボット14の姿勢変化がなければ、2つの打点同士47、48を直線的に連結することで移動経路は特定されることができ、姿勢変化があれば、2つのベクトル50、51の基点同士を連結することで移動経路は特定されることができる（図24および図26を参照のこと）。

【0097】図27に示すように再び次未処理打点49が検出されると、ステップU5で次未処理打点49に打順「3」が付与される。付与された打順「3」は打点配置結果データ42の打順欄44に登録される。こうして打順「3」が登録されると、前述と同様に、第2および第3未処理打点48、49間でベクトル51、53が比較され（ステップU6）、比較結果に基づいて第2未処理打点48から第3未処理打点49までの移動時間 T_1 が取得される。

【0098】続いてステップU8では、取得された移動時間 T_1 に基づいて総移動時間 T_2 が算出される。ここでは、前回記憶された総移動時間 T_2 に、今回算出された移動時間 T_1 が加えられる。前回の総移動時間 T_2 は、こうして移動時間 T_1 が加えられた総移動時間 T_2 によって置き換えられる。

【0099】総移動時間 T_2 が算出されると、ステップU9で、第1未処理打点47から第3未処理打点49までの処理時間 T_O が算出される。その結果、第1～第3未処理打点47～49で溶接ロボット14の姿勢が全く変化しない場合には、例えば図28に示すように、処理時間 T_O は、第1未処理打点47までの前進時間 T_f 、第1未処理打点47から第3未処理打点49までの2短

ピッチ移動時間 T_p 、第3未処理打点49からの後退時間 T_b 、第1～第3未処理打点47～49での溶接時間 T_w およびガン開閉時間 T_g などによって特定される。

【0100】算出された処理時間 T_O は、ステップU10で再び最大作業時間と比較される。処理時間 T_O が最大作業時間を超えていれば、ステップU11に進み、打点配分は完了する。ここでは、第3未処理打点49の処理が最大作業時間内に終了しないと判断され、第3未処理打点49の割り振りは失敗に終わる。その結果、指定された1溶接ロボット14に、第1および第2未処理打点47、48が配分される。こうした配分結果と打順とは図13の後工程に引き渡される。

【0101】処理時間 T_O が最大作業時間を超えていなければ、ステップU11で、第3未処理打点49が前未処理打点に置き換えられ、処理工程は再びステップU4に戻る。ステップU4以下の処理工程が再び実行される。こうして、ステップU10で処理時間 T_O が最大作業時間を超えるまで、あるいは、ステップU4で次未処理打点が検出されなくなるまで、ステップU4～U12の処理工程が繰り返されていく。その結果、指定された1溶接ロボット14に対して未処理打点が配分されるのである。ステップU11では、指定された溶接ロボットごとに、未処理打点の配分と打順とが図13の後工程に引き渡されることとなる。

【0102】次に図29に示すフローチャートを参照して図11のステップS6における未処理打点の割り振り工程を詳述する。まず、ステップV1で、コンピュータ本体26は、増し打ちライン13の上流側から順番に1溶接ロボット14を指定する。1溶接ロボット14が指定されると、溶接ロボット14に装着されるスポット溶接ガン19の種類SCA、SCB…が同時に特定されることとなる。この指定には、図11のステップS4で作成された配置データが参照されればよい。順番に従って指定されるべき1溶接ロボット14は、配置データに含まれる作業ステーション13a～13eの識別子と、各作業ステーション13a～13eにおける三次元座標値とによって簡単に特定されることができ

【0103】スポット溶接ガン19が指定されると、ステップV2で、作動範囲データで示される作動範囲Oaに含まれ指定されたスポット溶接ガン19で処理可能な未処理打点が抽出される。この抽出工程の詳細は後述される。

【0104】ステップV3では、抽出された未処理打点の中から、指定された作業時間値で示される最大作業時間内に処理される未処理打点が前記指定された1スポット溶接ガン19に対する打点配分が再検討される。この打点配分の再検討工程の詳細は後述される。

【0105】打点配分の再検討によって1スポット溶接ガン19に対する打点配分が完了すると、ステップV4で未処理打点の占有領域が設定される。この占有領域の

設定によって、前述と同様に、同一の作業ステーション内で同居する他のスポット溶接ガンが踏み込めない干渉領域が画定される。

【0106】ステップV5では、同一の作業ステーション内で次に指定されるべき溶接ロボット14すなわち1スポット溶接ガン19が存在するか否かが判断される。存在すれば、ステップV1に戻って、増し打ちライン13の上流側から数えられる順番に従って新たに溶接ロボット14すなわちスポット溶接ガン19が指定される。続いてステップV2～V5の処理が実行される。

【0107】ステップV5で指定すべき1スポット溶接ガン19が同一の作業ステーション内に残存しないことが確認されると、ステップV6で、1作業ステーションに対して設定されていた占有領域が解除される。この解除によって、新たな作業ステーションに対して占有領域が白紙化される。

【0108】その後、ステップV7で、作業ステーションの枠を越えて新たに指定されるべき溶接ロボット14すなわち1スポット溶接ガン19が存在するか否かが判断される。存在すれば、ステップV1に戻って、増し打ちライン13の上流側から数えられる順番に従って新たに溶接ロボット14すなわちスポット溶接ガン19が指定される。続いてステップV2～V5の処理が実行される。作業ステーションの枠を越えて新たに1スポット溶接ガン19が指定されると、それまでに設定された占有領域に関係なく未処理打点を割り振っていくことができる。

【0109】ステップV7で、全ての溶接ロボット14すなわちスポット溶接ガン19に対して打点配分が完了したことが確認されると、ステップV8で、打点配分結果が図11の後工程に引き渡される。

【0110】次に、図30に示すフローチャートを参照しつつ図29のステップV2における未処理打点の抽出工程を詳述する。この工程では、ステップW1で、図11のステップS1で取得された打順データに基づいて各未処理打点の打順が検索される。検索の結果、最も若い打順に相当する未処理打点と、打順に関係のない未処理打点（表示「-1」）とが抽出される。その結果、ステップW2以降では、打順の若い未処理打点が優先的に抽出されていくこととなる。このステップW1で抽出された未処理打点は、同一作業ステーション内で未処理打点の割り振りが行われている限り保持される。

【0111】ステップW2では、図11のステップS2で指定された作動範囲データで示される作動範囲Oa内に含まれる未処理打点が検索される。その結果、作動範囲Oaを基準に、ステップW1で検索された未処理打点が絞り込まれる。未処理打点の検索工程の詳細は後述される。

【0112】ステップW3では、図11のステップS1で取得されたガンデータに基づき、指定された1スポッ

10

20

30

40

50

ト溶接ガン 19 が担当可能な未処理打点が検索される。その結果、スポット溶接ガン 19 の種類に応じて、ステップ W2 で絞り込まれた未処理打点がさらに絞り込まれる。この絞り込みによって、指定された 1 スポット溶接ガン 19 によって担当されることができない未処理打点は排除される。

【0113】ステップ W4 では、1 作業ステーション内で既に設定された占有領域が検出される。このとき、ステップ W3 までに絞り込まれてきた未処理打点の中から占有領域に属さない未処理打点群が呼び出される。

【0114】ステップ W4 で最終的に絞り込まれた未処理打点群は、ステップ W5 で、図 29 のステップ V3 における打点配分の再検討工程に受け渡される。ステップ W1 ~ W4 の抽出によって最終的に未処理打点が全く残存しなかった場合には、再検討工程に受け渡される未処理打点は存在しないこととなる。

【0115】次に、図 31 に示すフローチャートを参照して図 30 のステップ W2 における未処理打点の検索工程を詳述する。この工程では、ステップ X1 で、作業ステーションと溶接ロボット 14 のアーム基点 21 との相対位置関係が検出される。前述した通り、作業ステーション内の溶接ロボット 14 の位置は配置データに含まれる作業ステーション固有の座標空間によって特定されることができる。その一方で、アーム基点 21 の位置は作動範囲データに含まれる溶接ロボット 14 固有の座標空間によって特定されることができる。したがって、溶接ロボット 14 固有の座標空間を作業ステーションの座標空間に取り込ませることによって、作業ステーションにおけるアーム基点 21 の位置が特定されるのである。

【0116】作業ステーションの座標空間に対してアーム基点 21 の位置が特定されると、続いてステップ X2 で、例えば図 32 に示すように、作業ステーションに停止する車体フレーム 11 に対して作動範囲 Oa が投影される。作動範囲 Oa は、各溶接ロボット 14 のアーム基点 21 を中心に作動範囲データで示される半径の球面によって描かれればよい。車体フレーム 11 の位置が作業ステーション固有の座標空間内で特定されれば、アーム基点 21 を中心に描かれる作動範囲 Oa は容易に車体フレーム 11 に投影されることができる。

【0117】こうして、配置データで示される溶接ロボット 14 の位置に基づき、その溶接ロボット 14 に装着されたスポット溶接ガン 19 の作動範囲 Oa が車体フレーム 11 上に投影されることとなる。作動範囲 Oa が投影されると、ステップ X3 で、打点データに基づき、投影された作動範囲 Oa に含まれる未処理打点が選択される。ただし、前述した通り、三次元のキネマティクス解で作動範囲 Oa が表現された場合には、作動範囲 Oa を一層厳密に画定することができ、シミュレーション結果の信頼性を高めることができる。この場合には、三次元キネマティクス解の三次元形状データを作業ステーショ

ン固有の座標空間に取り込ませることによって作動範囲 Oa を車体フレーム 11 上に投影させることができる。

【0118】次に図 33 に示すフローチャートを参照して図 29 のステップ V3 における打点配分の再検討工程を詳述する。この工程では、ステップ Y1 で、以下に用いられるパラメータ T1、T2、TO が初期化される。

【0119】ステップ Y2 では、図 29 のステップ V3 から引き渡された未処理打点の中から集中打点群が選択される。この集中打点群は、引き渡された未処理打点の密集度を算出することによって選択される。こうした密集度は、例えば、打点データに示される各中分類「A1」~「K3」に含まれる未処理打点数に基づいて特定されればよい。

【0120】ステップ Y3 では、例えば図 34 に示されるように、図 29 のステップ V3 から引き渡された全ての未処理打点に打順が付与される。打順は、打点データによって予め打順「1」「2」「3」のいずれかが指定されている未処理打点に優先的に付与されることが望ましい。打点データによって打順が指定されている未処理打点が割り振られずに残存すると、次のスポット溶接ガン 19 に割り振られる未処理打点が打順によって限定されてしまうからである。

【0121】そういった未処理打点に打順が付与されてしまえば、それ以降、打順が付与された未処理打点が属する小分類「A1-1」~「K3-2」内の未処理打点や、前の打順の未処理打点に最近の小分類「A1-1」~「K3-2」に属する未処理打点に順番に打順が付与されていけばよい。そうすれば、1 スポット溶接ガン 19 で連続的に処理されることができる未処理打点に順番に打順が付与されることとなるからである。したがって、1 スポット溶接ガン 19 で効率的に未処理打点を処理させることができる。予め打順が指定された未処理打点が存在しない場合には、選択された集中打点群の中から車体の基準点 CC に最も離れた 1 未処理打点に打順「1」が付与されればよい。

【0122】ステップ Y4 では、付与された打順に従って順番に現未処理打点が指定される。例えば打順「1」の未処理打点が特定されていれば、打順「2」の未処理打点が現未処理打点として指定される。図 29 のステップ V2 から引き渡された未処理打点が 1 つしかなく打順「2」の未処理打点が存在しなければ、処理は終了し、指定されたスポット溶接ガン 19 に打順「1」の未処理打点のみが割り振られることとなる。

【0123】現未処理打点が指定されると、前未処理打点から現未処理打点までスポット溶接ガン 19 が移動する際に費やされる移動時間 T1 が取得される。未処理打点の組み合わせが特定されれば、前述した通り、オフラインティーチデータ 34 によって移動時間 T1 は特定されることができる。ただし、この場合には、1 対の未処理打点のあらゆる組み合わせに対して 2 点間の移動時間 T

1 を予め登録しておかなければならない。ここでは、溶接ロボットの姿勢変化の有無を判断し、その判断に基づいて短ピッチ移動時間 T_p や姿勢変化時間 T_c の規定値を用いて簡略的に移動時間 T_1 を導き出すこととする。

【0124】まず、ステップ Y5 で、前述と同様に、打順「1」の未処理打点および打順「2」の未処理打点に対してスポット溶接ガン 19 のアプローチ方向を規定するベクトル 50、51 を設定する。2 つのベクトル 50、51 が比較されると、スポット溶接ガン 19 の姿勢変化の有無が判定される。ステップ Y5 で姿勢変化がないと判断されれば、ステップ Y6 で短ピッチ移動時間 T_p の規定値が取得される。その一方で、姿勢変化があると判断されれば、ステップ Y6 で姿勢変化時間 T_c の規定値が取得される。いずれの場合でも、取得された規定値は、2 つの未処理打点 47、48 間で必要とされる短ピッチ移動時間データまたは姿勢変化時間データとしてオフラインティーチデータ 34 に登録される。こうしてシミュレーションを実行しながら該当する 2 未処理打点間の移動時間 T_1 が特定される。

【0125】移動時間 T_1 が取得されると、ステップ Y7 で、打順「1」の未処理打点から打順「2」の未処理打点までの総移動時間 T_2 が算出される。ここでは、前回までの総移動時間 $T_2 = 0$ であるから、移動時間 T_1 がそのまま総移動時間 T_2 に置き換えられる。

【0126】ステップ Y8 では、算出された総移動時間 T_2 に基づいて、打順「1」の未処理打点から打順「2」の未処理打点までの処理時間 T_O が算出される。この算出にあたっては、設備データ 32 からガン開閉時間データが取得され、ワークデータ 33 から溶接時間データが取得され、オフラインティーチデータ 34 から前進時間データや後退時間データが取得される。処理時間 T_O は、図 24 や図 26 を参照しつつ前述した通り特定される。

【0127】算出された処理時間 T_O は、ステップ Y9 で、タクト時間データすなわち最大作業時間データで示される最大作業時間と比較される。処理時間 T_O が最大作業時間を超えていれば、ステップ Y10 に進み、未処理打点の割り振りは完了する。打順「2」の未処理打点 48 の処理が最大作業時間内に終了しないと判断され、打順「2」の未処理打点 48 の割り振りは失敗に終わる。指定されたスポット溶接ガン 19 には、打順「1」の未処理打点のみが割り振られることとなる。その一方で、処理時間 T_O が最大作業時間を超えていなければ、ステップ Y11 で、打順「2」の未処理打点が前未処理打点として登録され、処理工程はステップ Y4 に戻る。

【0128】ステップ Y4 では、打順に従って再び現未処理打点が指定される。検出されなければ、ステップ Y10 に進み、前未処理打点の打順よりも大きい打順が消去される。その結果、指定された 1 スポット溶接ガン 19 に、打順に従って順番に指定された未処理打点が割り

振られる。こうして打順が特定されれば、図 24 や図 26 を参考にしながら前述された通り、打順に従って移動するスポット溶接ガン 19 の移動経路が設定されてもよい。

【0129】ここで、現未処理打点すなわち打順「3」の未処理打点 49 が指定されると、前述と同様に、打順「2」および打順「3」の未処理打点 48、49 間でベクトル 51、53 が比較され（ステップ Y5）、比較結果に基づいて打順「2」の未処理打点 48 から打順「3」の未処理打点 49 までの移動時間 T_1 が取得される。

【0130】続いてステップ Y7 では、取得された移動時間 T_1 に基づいて総移動時間 T_2 が算出される。ここでは、前回記憶された総移動時間 T_2 に、今回算出された移動時間 T_1 が加えられる。前回の総移動時間 T_2 は、こうして移動時間 T_1 が加えられた総移動時間 T_2 によって置き換えられる。総移動時間 T_2 が算出されると、ステップ Y8 で、打順「1」の未処理打点 47 から打順「3」の未処理打点 49 までの処理時間 T_O が算出される。

【0131】算出された処理時間 T_O は、ステップ Y9 で再び最大作業時間と比較される。処理時間 T_O が最大作業時間を超えていれば、ステップ Y10 に進み、未処理打点の割り振りは完了する。ここでは、打順「3」の未処理打点 49 の処理が最大作業時間内に終了しないと判断され、打順「3」の未処理打点 49 の割り振りは失敗に終わる。打順「3」以降の打順が消去され、その結果、指定された 1 スポット溶接ガン 19 に、打順「1」および「2」で指定される未処理打点 47、48 が割り振られる。

【0132】処理時間 T_O が最大作業時間を超えていなければ、ステップ Y11 で、打順「3」の未処理打点 49 が前未処理打点に置き換えられ、処理工程は再びステップ Y4 に戻る。ステップ Y4 以下の処理工程が再び実行される。こうして、ステップ Y9 で処理時間 T_O が最大作業時間を超えるまで、あるいは、ステップ Y4 で現未処理打点が指定されなくなるまで、ステップ Y4 ~ Y11 の処理工程が繰り返されていく。その結果、指定された 1 スポット溶接ガン 19 に対して未処理打点が割り振られるのである。

【0133】なお、本発明は、前述したいわゆる増し打ちラインを構築する際に用いられるだけでなく、同様に作業ロボットが配列されるその他の生産ラインを構築する際に用いられることができる。

【0134】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、1 生産ラインに配列される作業ロボットにできる限り均等に作業を配分することができる生産ラインの作業配分シミュレーション方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 自動車の車体フレームを製造する生産ラインの一具体例を示す概略平面図である。

【図 2】 溶接ロボットの一具体例を示す斜視図である。

【図 3】 各スポット溶接ガンの形状を示す図である。

【図 4】 各溶接ロボットの作業に必要とされる作業時間を算出する方法を示す模式図である。

【図 5】 車体フレーム上の打点群の一具体例を示す図である。

【図 6】 本発明に係る生産ラインの作業配分シミュレーション方法を実現する CAD/CAM (コンピュータ支援設計製造) システムの構成を概略的に示すブロック図である。

【図 7】 占有領域の特定方法を示す図である。

【図 8】 打点データの構造を示す図である。

【図 9】 打点データの構造を示す図である。

【図 10】 ガンデータの構造を示す図である。

【図 11】 本発明に係る生産ラインの作業配分シミュレーション方法の処理工程を概略的に示すフローチャートである。

【図 12】 最大作業時間の短縮によって生じるスポット溶接ガンの稼働率の変化を示すグラフである。

【図 13】 未処理打点群の特定工程を示すフローチャートである。

【図 14】 溶接ロボット指定欄に対する「11」の登録を示す図である。

【図 15】 打順欄に対する打順の登録を示す図である。

【図 16】 車体フレーム上に設定された占有領域を示す図である。

【図 17】 溶接ロボット指定欄に対する「12」の登録を示す図である。

【図 18】 打点配分の検討工程を示すフローチャートである。

【図 19】 第 1 未処理打点に対する 1 スポット溶接ガン「MCF」の登録を示す図である。

【図 20】 第 1 未処理打点の抽出工程を示すフローチャートである。

【図 21】 打点配分の決定工程を示すフローチャートである。

* 【図 22】 車体フレーム上に設定された作動範囲を示す図である。

【図 23】 溶接ロボットの姿勢が変化しない場合に第 1 および第 2 未処理打点に対してアプローチ方向を規定するベクトルを示す図である。

【図 24】 溶接ロボットの姿勢が変化しない場合に第 1 および第 2 未処理打点に対して想定される処理時間を示す図である。

【図 25】 溶接ロボットの姿勢が変化する場合に第 1 および第 2 未処理打点に対してアプローチ方向を規定するベクトルを示す図である。

【図 26】 溶接ロボットの姿勢が変化する場合に第 1 および第 2 未処理打点に対して想定される処理時間を示す図である。

【図 27】 第 2 および第 3 未処理打点に対してアプローチ方向を規定するベクトルを示す図である。

【図 28】 第 1 ～第 3 未処理打点に対して想定される処理時間を示す図である。

【図 29】 未処理打点の割り振り工程を示すフローチャートである。

【図 30】 未処理打点の抽出工程を示すフローチャートである。

【図 31】 作動範囲に基づく未処理打点の検索工程を示すフローチャートである。

【図 32】 車体フレーム上に設定された作動範囲を示す図である。

【図 33】 打点配分の再検討工程を示すフローチャートである。

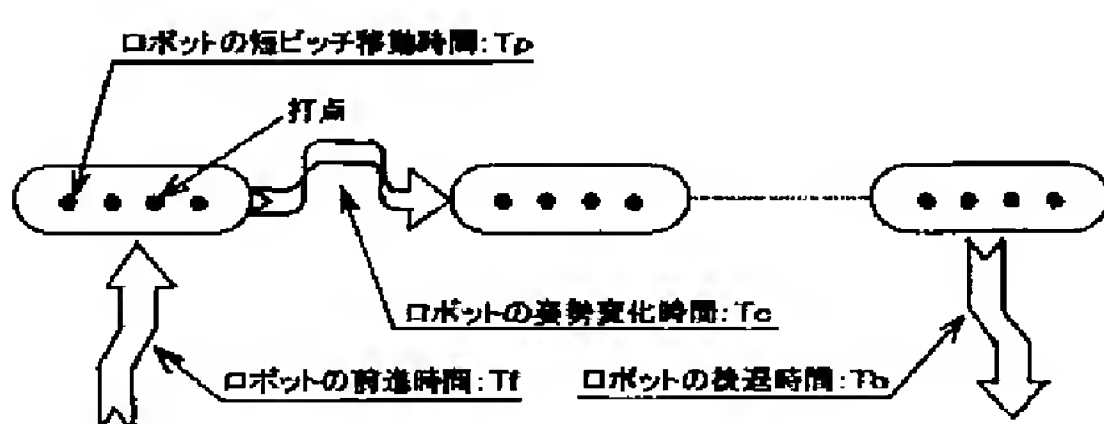
【図 34】 抽出された未処理打点に対して登録された打順を示す図である。

【符号の説明】

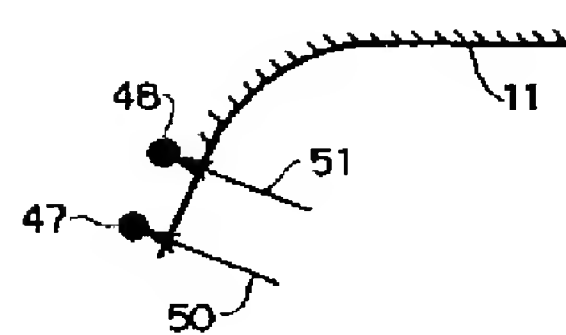
10 生産ライン、11 ワークとしての車体フレーム、13a～13i 作業ステーション、14 溶接ロボット、19 スポット溶接ガン、23 スポット溶接打点、33 打点データ、打順データおよびガンデータを含むワークデータ、34 作動範囲データおよび移動時間データを含むオフラインティーチデータ、50、51、53 ベクトル、0a 作動範囲、T0 処理時間。

*40

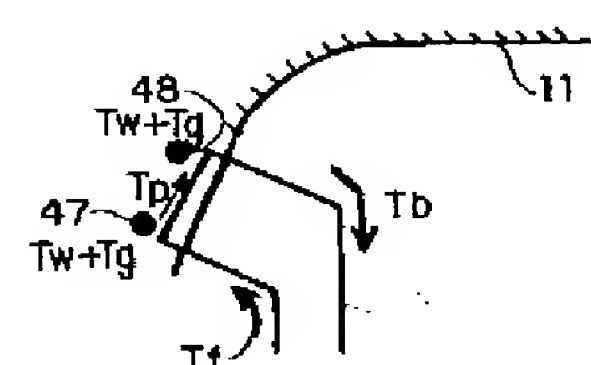
【図 4】



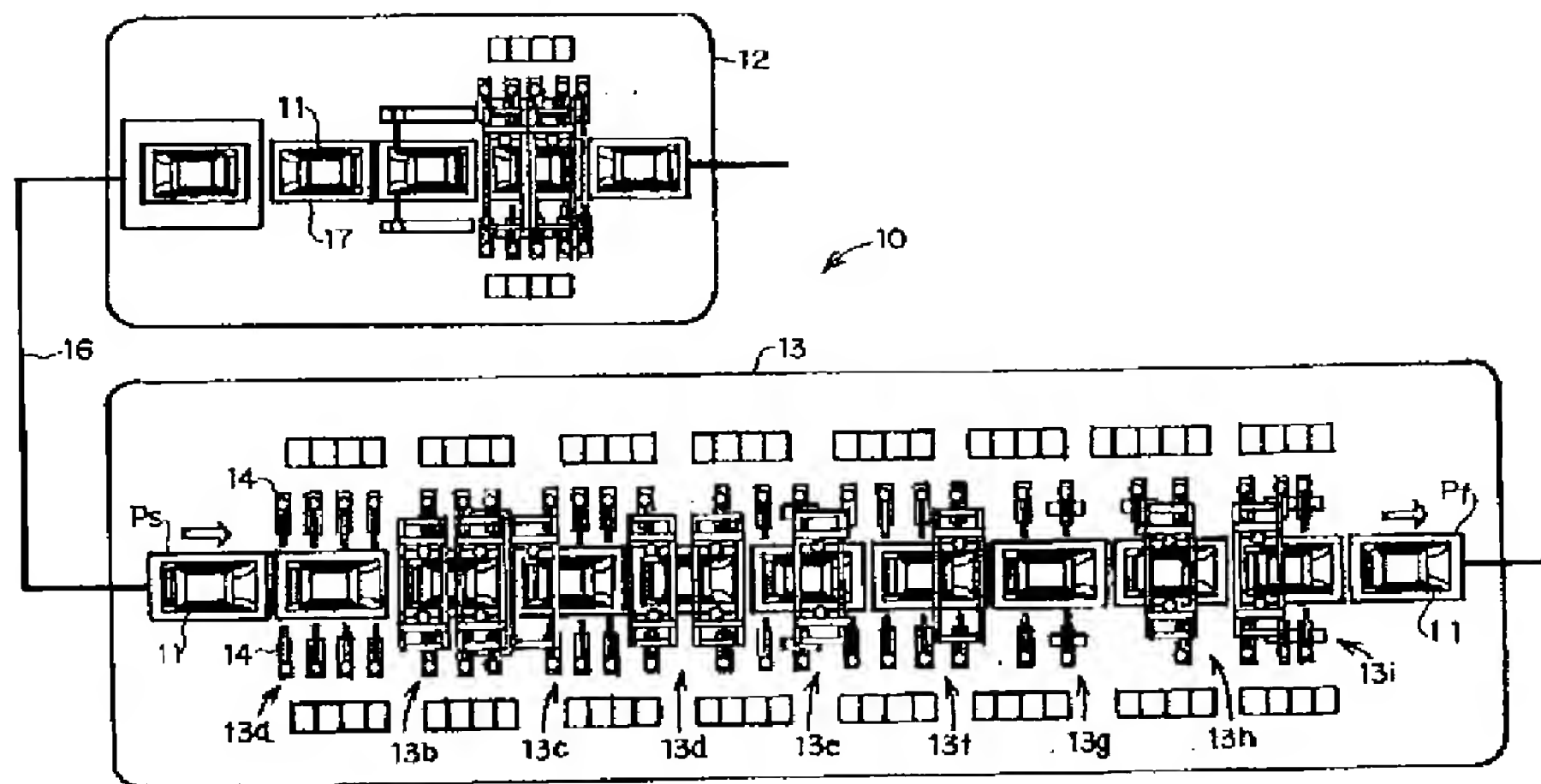
【図 23】



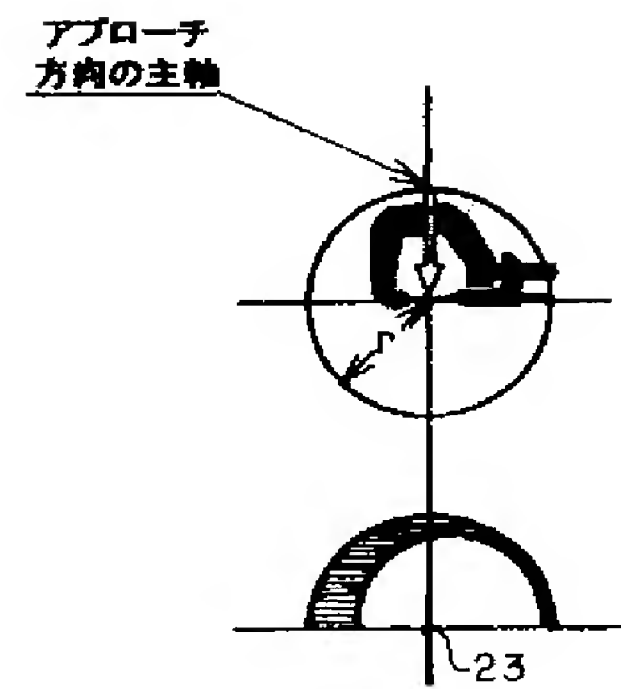
【図 24】



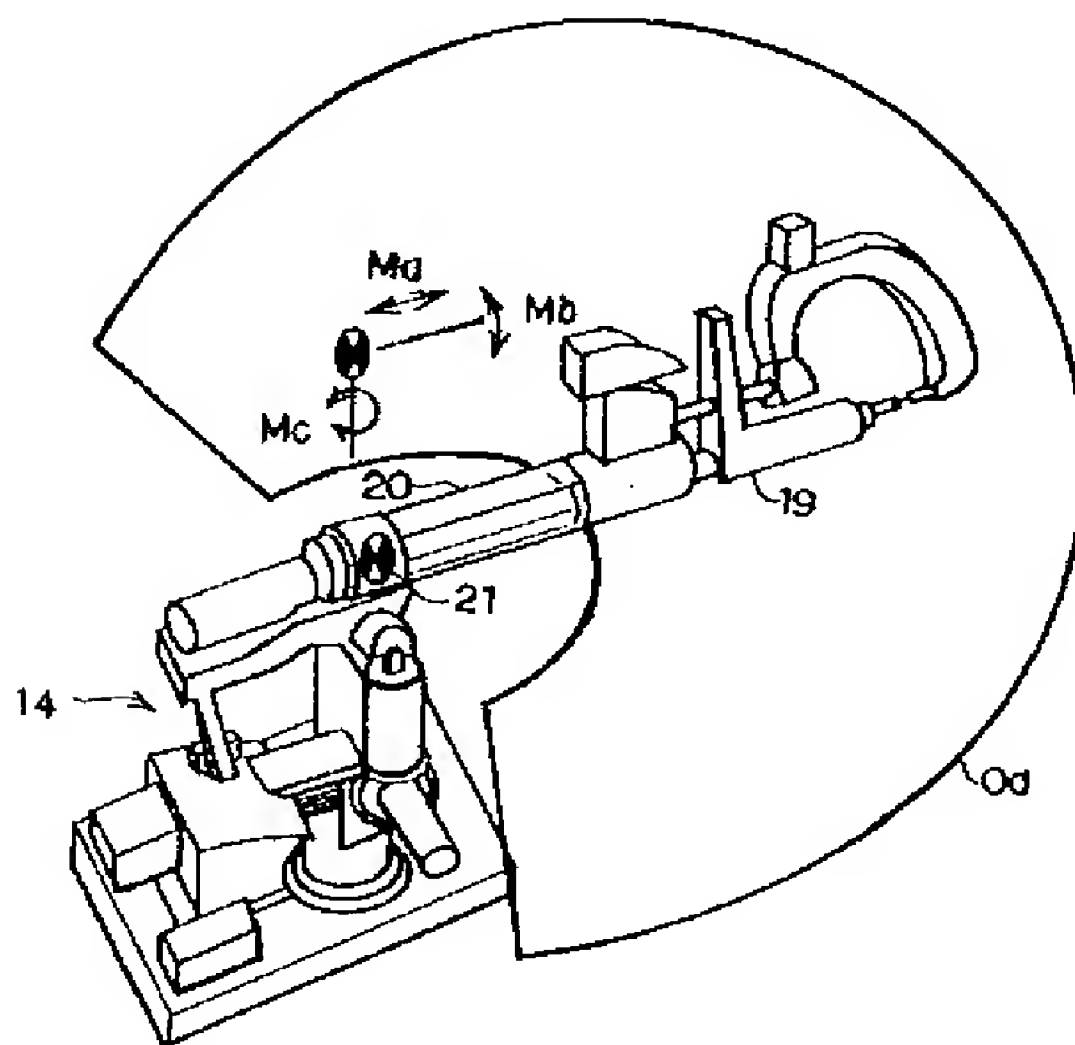
【図1】



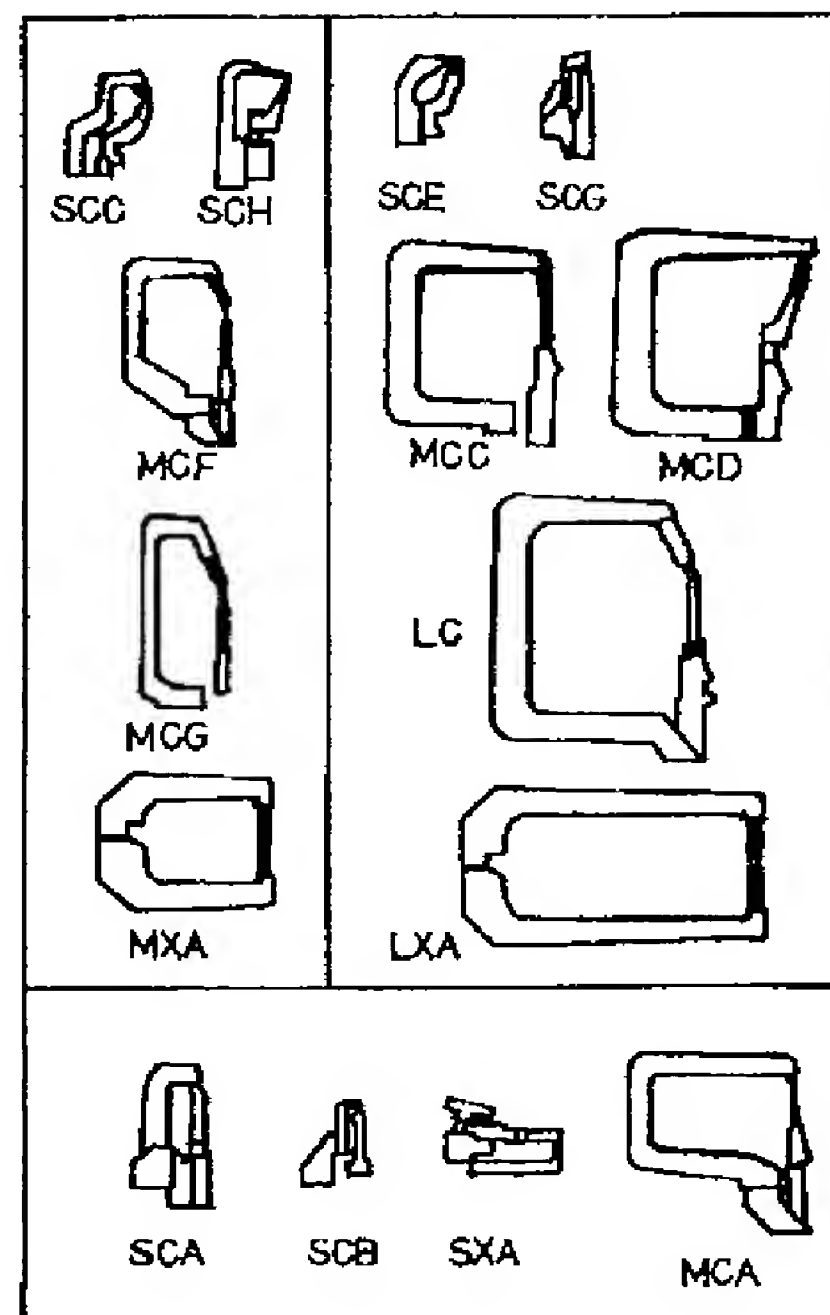
【図7】



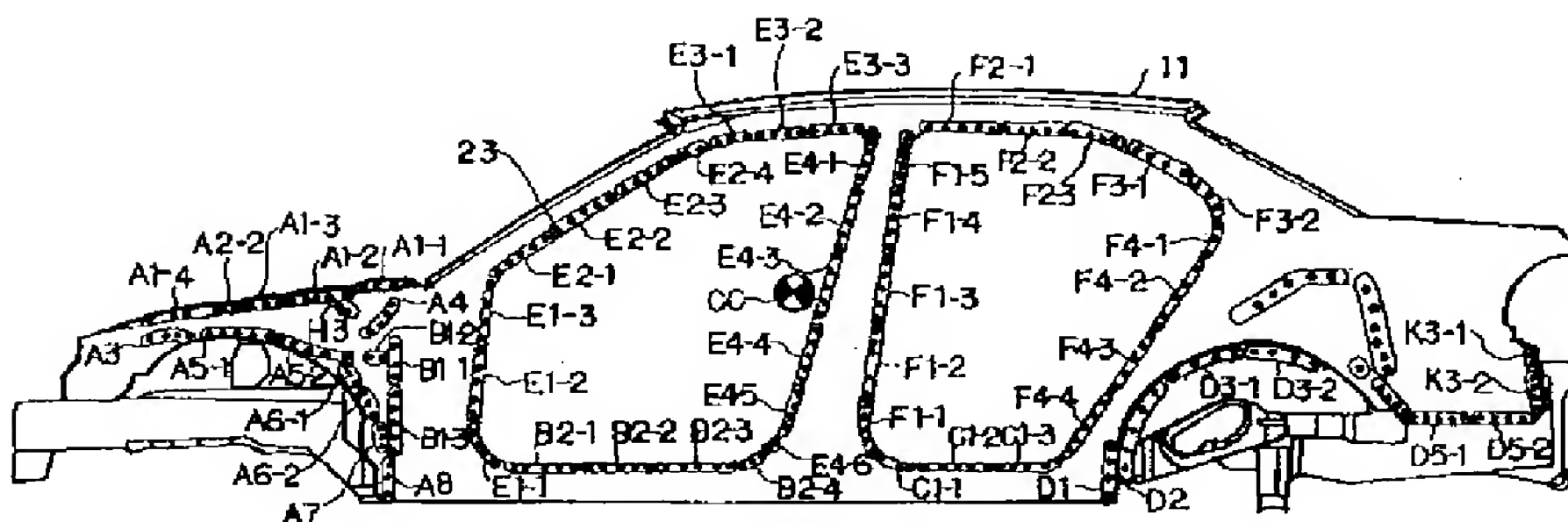
【図2】



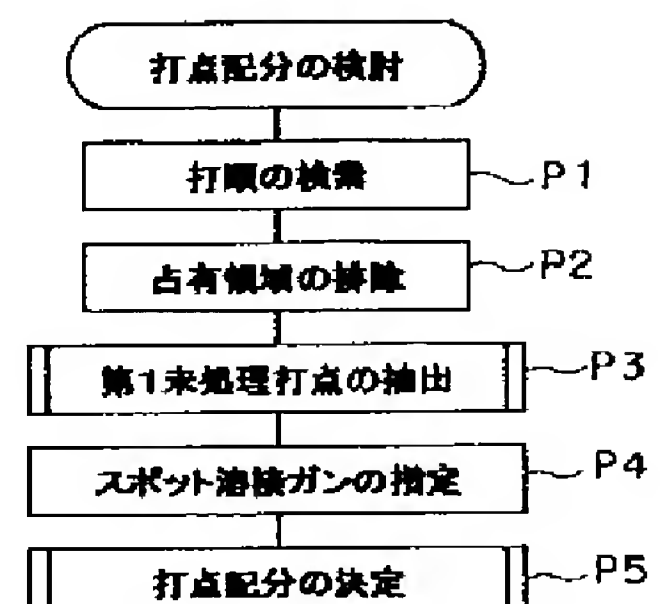
【図3】



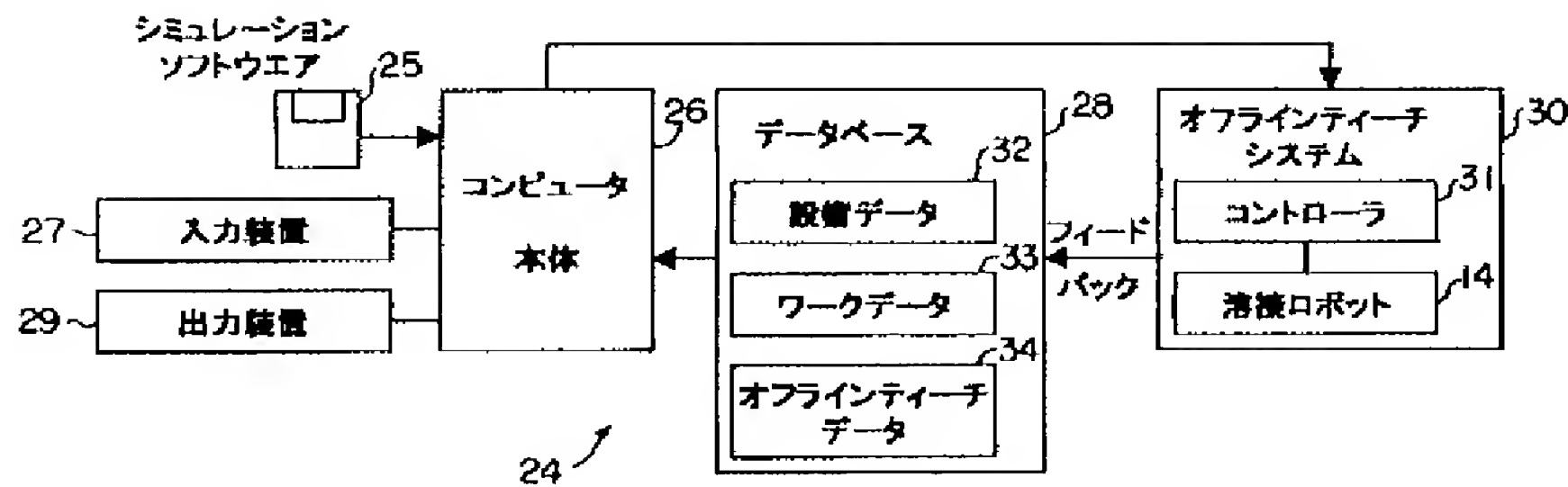
【図5】



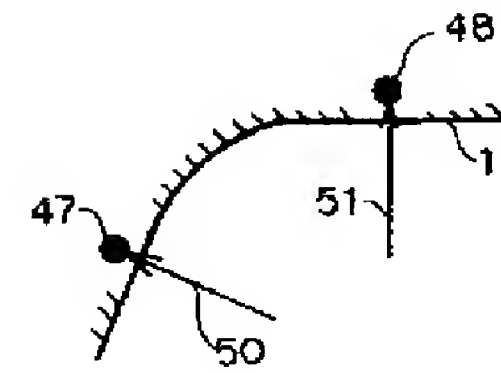
【図18】



【図6】



【図25】



【図8】

大分類	中分類	小分類	打点数	三次元座標			打順
				T	B	H	
A	A1	A1-1	4	1044		17	3
		A1-2	6	1218		-17	3
		A1-3	8	1340		-35	3
		A1-4	4	1549		-70	3
	A2	A2-2	1	1427		-52	2
	A3	A3	4	1575		-131	3
	A4	A4	4	1044		-78	1
	A5	A5-1	5	1401		-122	3
		A5-2	5	1227		-148	3
	A6	A6-1	3	1122		-235	-1
		A6-2	3	1079		-313	-1
	A7	A7	3	1044		-400	-1
B	B1	B1-1	3	1009		-191	1
		B1-2	2	1063		-183	1
		B1-3	5	1009		-348	-1
	B2	B2-1	5	818		-479	-1
		B2-2	5	435		-479	-1
		B2-3	5	235		-479	-1
C	C1	C1-1	3	-270		-461	-1
		C1-2	5	-426		-470	-1
		C1-3	5	-609		-470	-1
D	D1	D1	4	-818		-487	-1
	D2	D2	5	-887		-385	-1
	D3	D3-1	4	-1053		-183	-1
		D3-2	4	-1244		-157	-1
	D5	D5-1	5	-1653		-331	-1

【図9】

大分類	中分類	小分類	打点数	三次元座標			打順
				T	B	H	
E	E1	E1-1	4	783		-409	-1
		E1-2	5	792		-235	-1
		E1-3	4	783		-52	-1
	E2	E2-1	5	687		104	-1
		E2-2	5	539		218	-1
		E2-3	5	385		331	-1
		E2-4	2	252		400	-1
	E3	E3-1	3	185		435	-1
		E3-2	4	44		444	-1
		E3-3	4	-87		452	-1
	E4	E4-1	5	-191		374	-1
		E4-2	5	-148		209	-1
		E4-3	5	-113		35	-1
		E4-4	5	-52		-185	-1
		E4-5	4	-9		-313	-1
		E4-6	2	44		-418	-1
F	F1	F1-1	5	-200		-383	-1
		F1-2	5	-209		-191	-1
		F1-3	5	-226		17	-1
		F1-4	5	-244		200	-1
	F2	F2-1	5	-418		461	-1
		F2-2	5	-600		452	-1
		F2-3	4	-748		444	-1
	F3	F3-1	4	-914		374	-1
		F3-2	3	-1053		278	-1
	F4	F4-1	3	-1070		185	-1
		F4-2	5	-974		0	-1
		F4-3	5	-870		-185	-1
		F4-4	5	-757		-357	-1
H	H3	D1	2	1140		-44	1
K	K3	K3-1	3	-1897		-157	-1
		K3-2	4	-1905		-261	-1

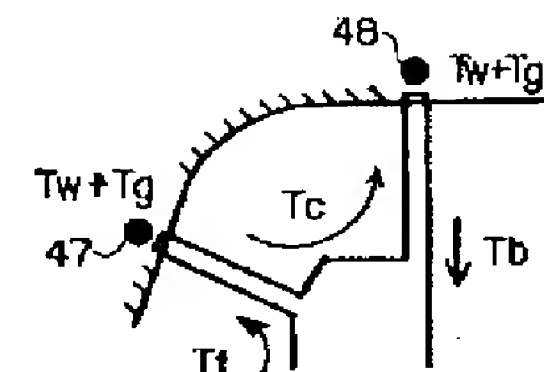
【図14】

ID	打点	配置	11
0	A1-1		
1	A1-2		
2	A1-3		
3	A1-4		
4	A2-2		
5	A3		
...			

【図17】

ID	打点	配置	11	12
0	A1-1			
1	A1-2			
2	A1-3			
3	A1-4			
4	A2-2			
5	A3			
...				

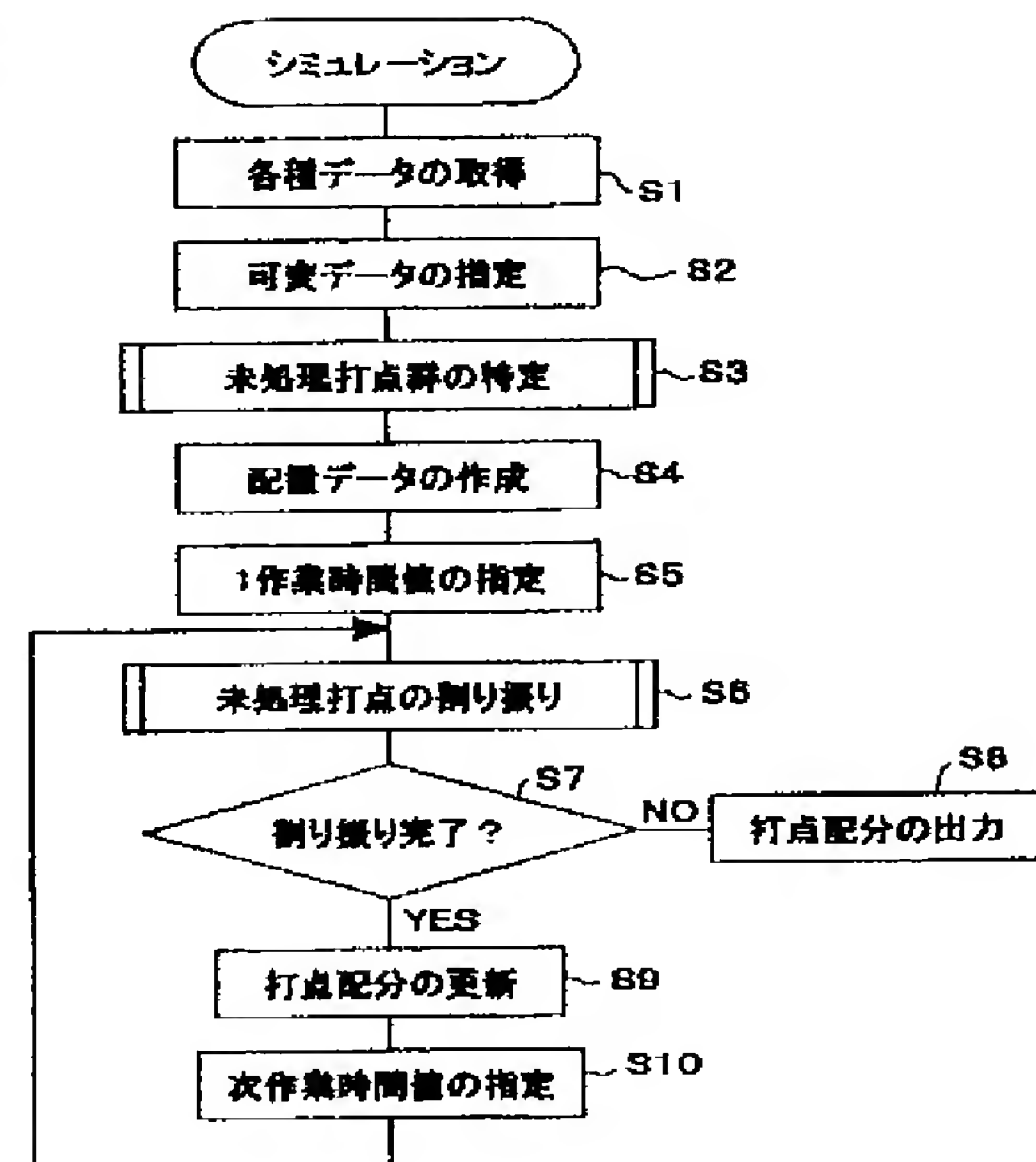
【図26】



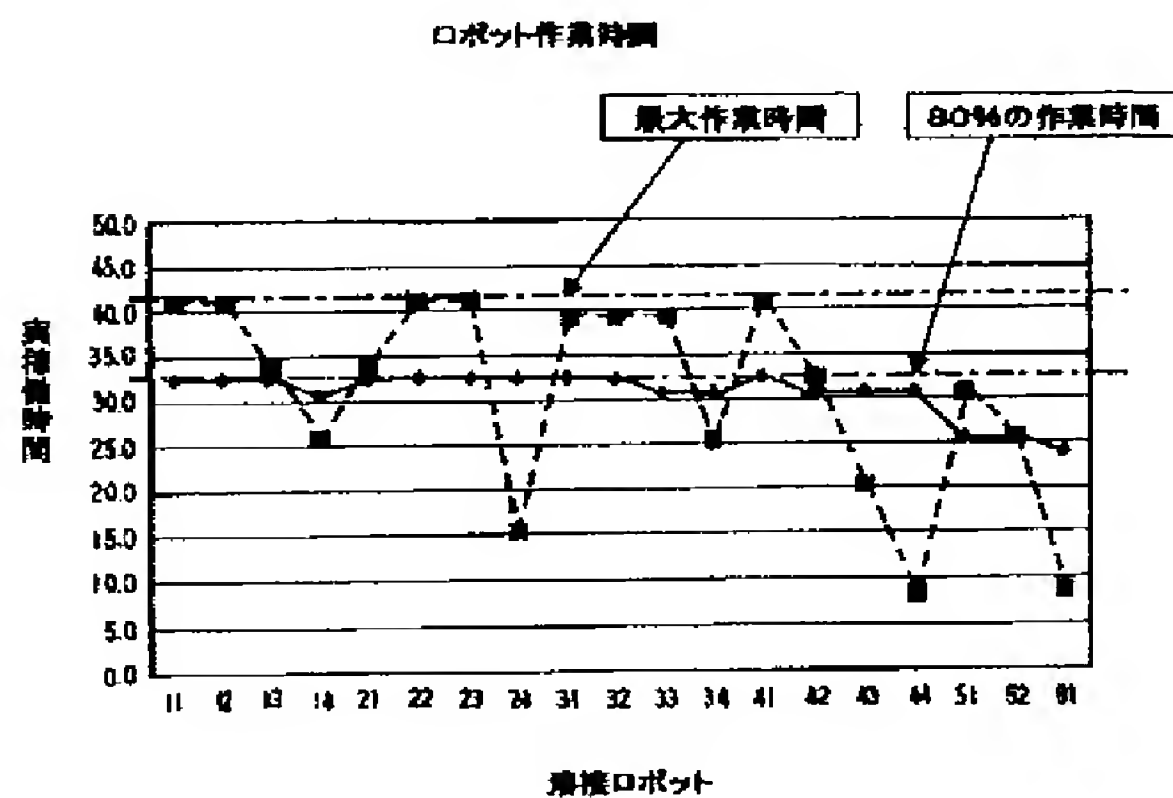
【図10】

		デフォルト ガン	使用可能なガン														
			SCA	SCB	SCC	SCE	SCG	SCH	SXA	LC	LXA	MCA	MCC	MCD	MCF	MCG	MXA
A 1		MCA	●	●				●	●			●		●	●		
A 2		SCA	●	●				●	●			●		●	●		
A 3		MCA										●		●	●		
A 4		SXA							●								
A 5		MCA	●	●				●	●			●		●	●		
A 6		MCA	●	●				●	●			●			●		
A 7		MCA	●	●				●	●			●			●		
A 8		MCA						●	●			●			●		
B 1		SCA	●						●						●		
B 2		SCA	●						●						●		
C 1		MCA		●				●	●			●			●		
D 1		SXA		●					●								
D 2		SCB		●													
D 3		SCB		●													
D 5		SXA							●								
E 1		SXA						●	●						●		
E 2		SCA	●	●				●	●						●		
E 3		SCA	●	●				●	●					●	●		
E 4		MCD		●				●	●					●	●		
F 1		MCF		●				●	●						●		
F 2		MCF						●	●						●		
F 3		MCF		●				●	●					●	●		
F 4		SCH						●	●						●		
H 3		MCF													●		
K 3		SXA							●								

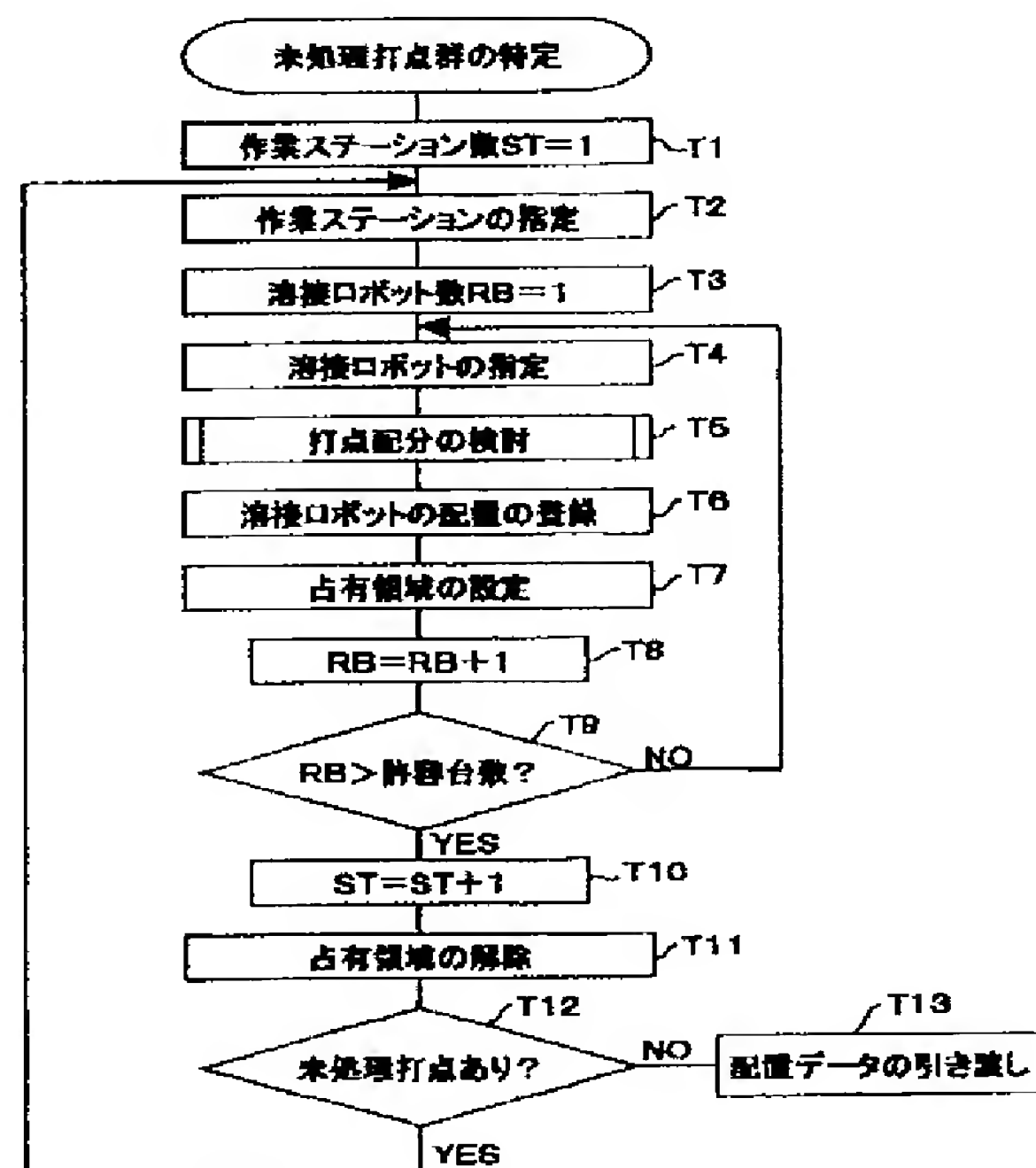
【図11】



【図12】



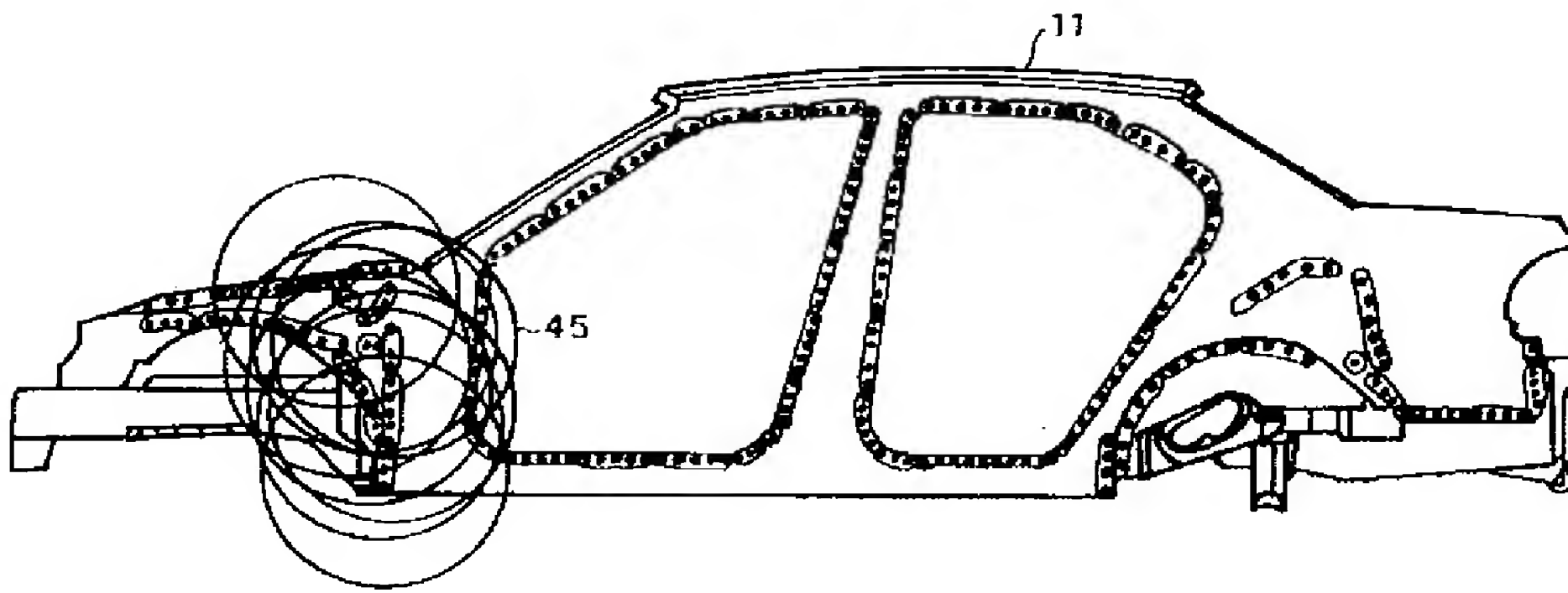
【図13】



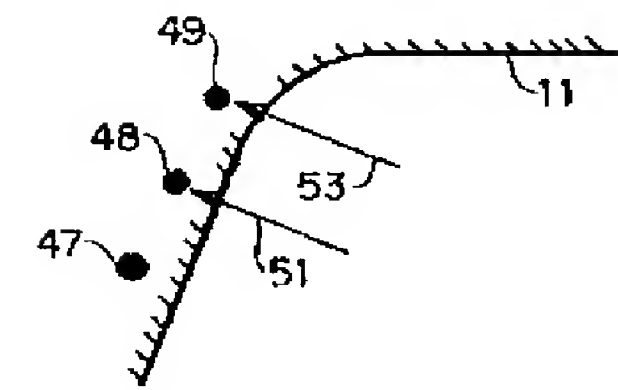
【図15】

ID	打点	配置	11
10	A 6-2		7 (3)
11	A 7		6 (3)
12	A 8		5 (3)
13	B 1-1		3 (3)
14	B 1-2		2 (2)
15	B 1-3		4 (5)
16	B 2-1		
59	H 3		1 (3)

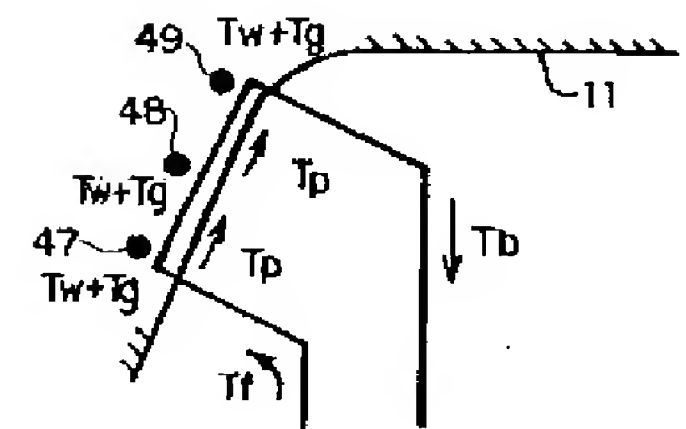
【図16】



【図27】



【図28】

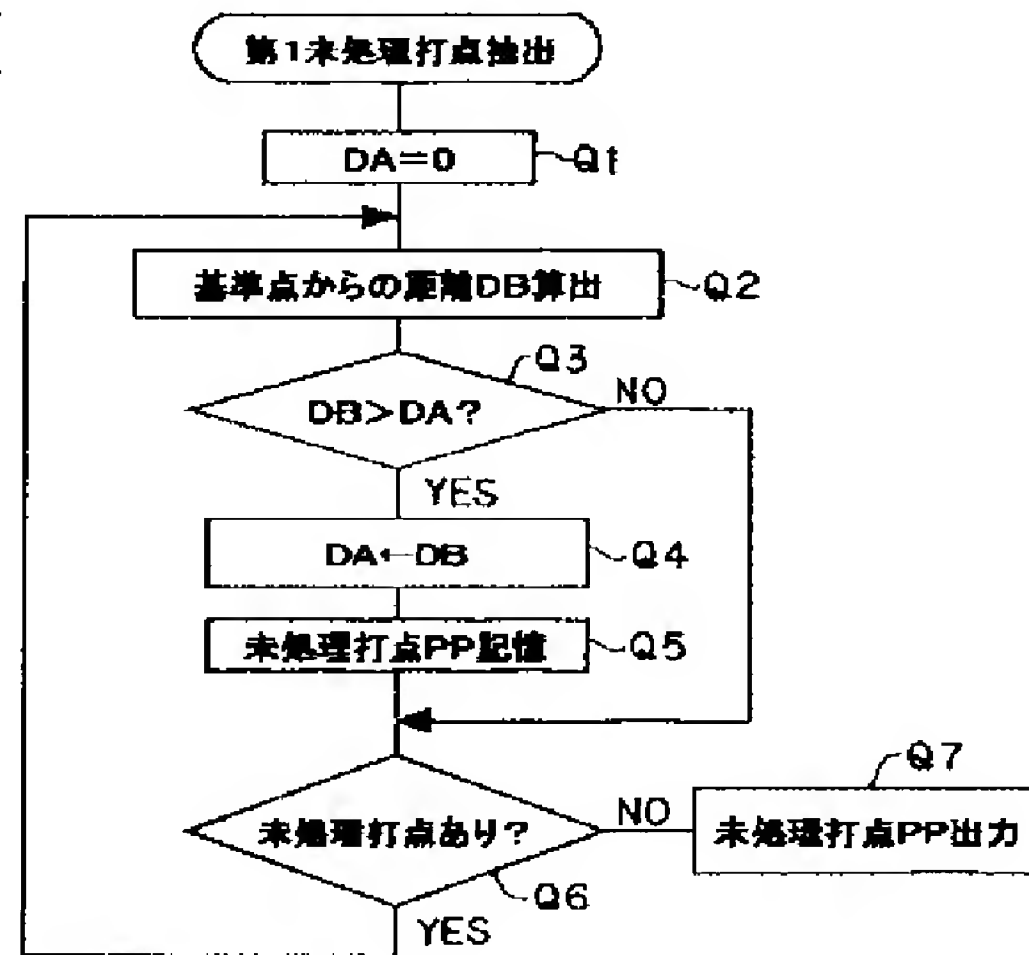


【図19】

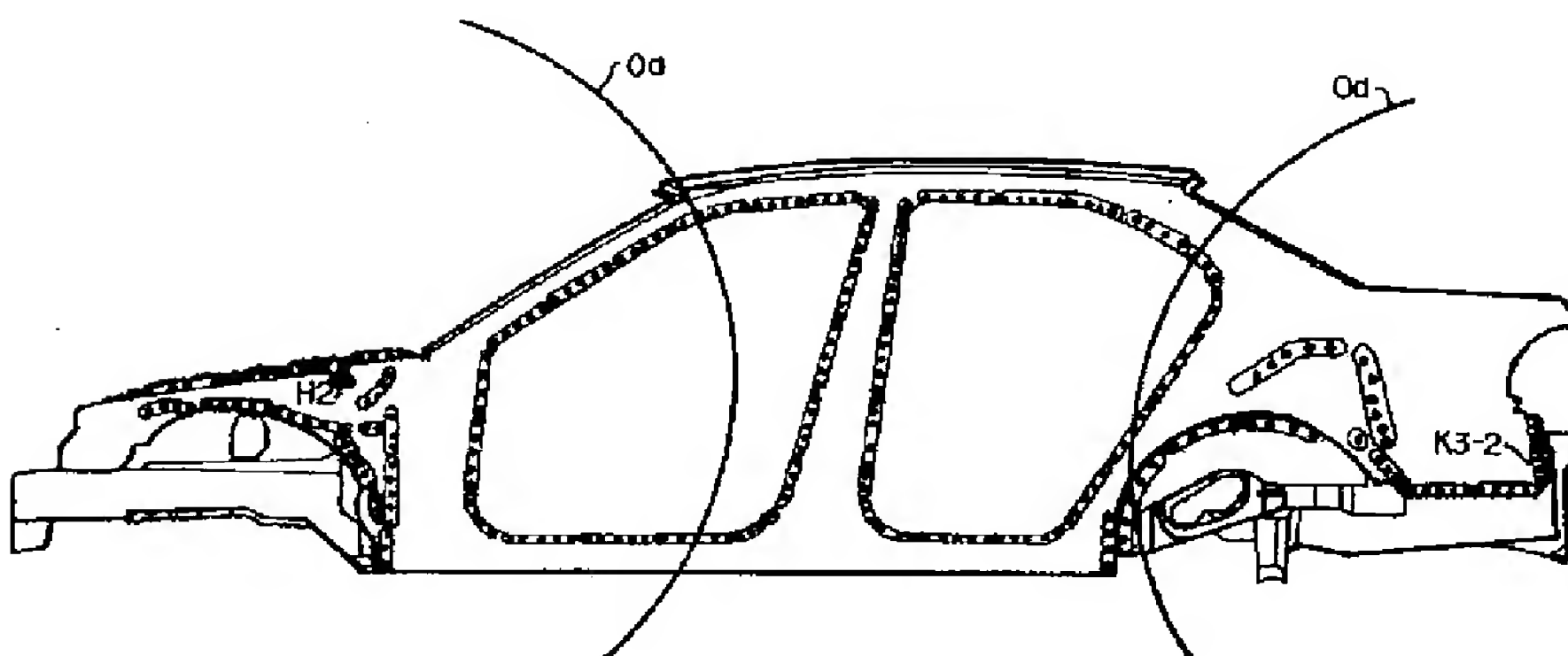
ID	打点	配置	11
:	:	:	44
59	H3		1(2)
60	K3-1		
61	K3-2		
使用ガン			MCF

43

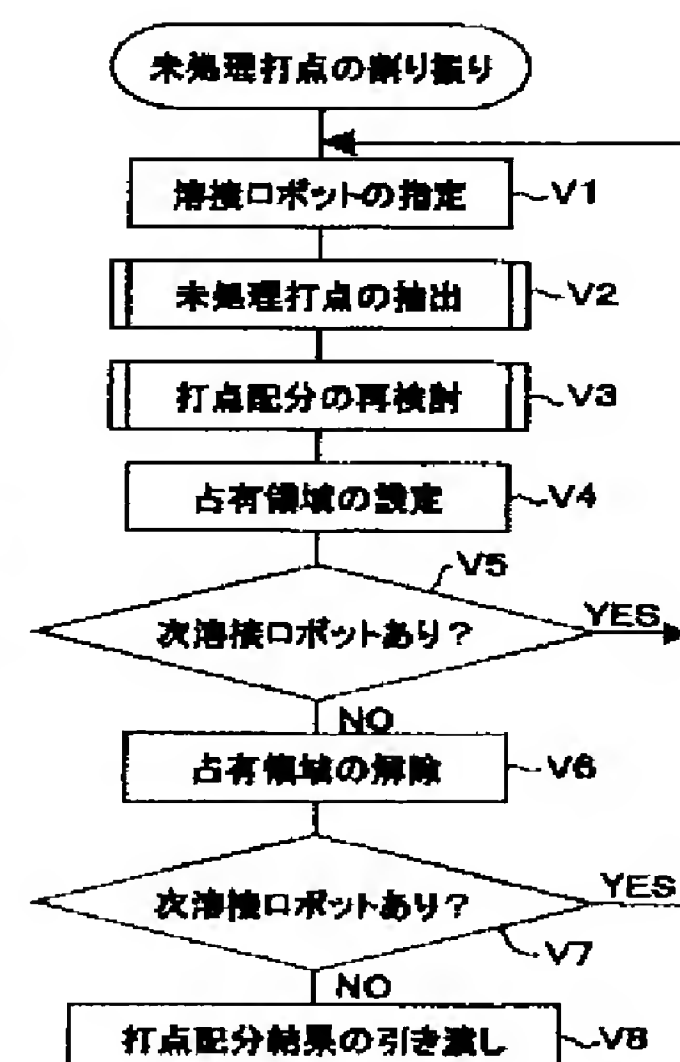
【図20】



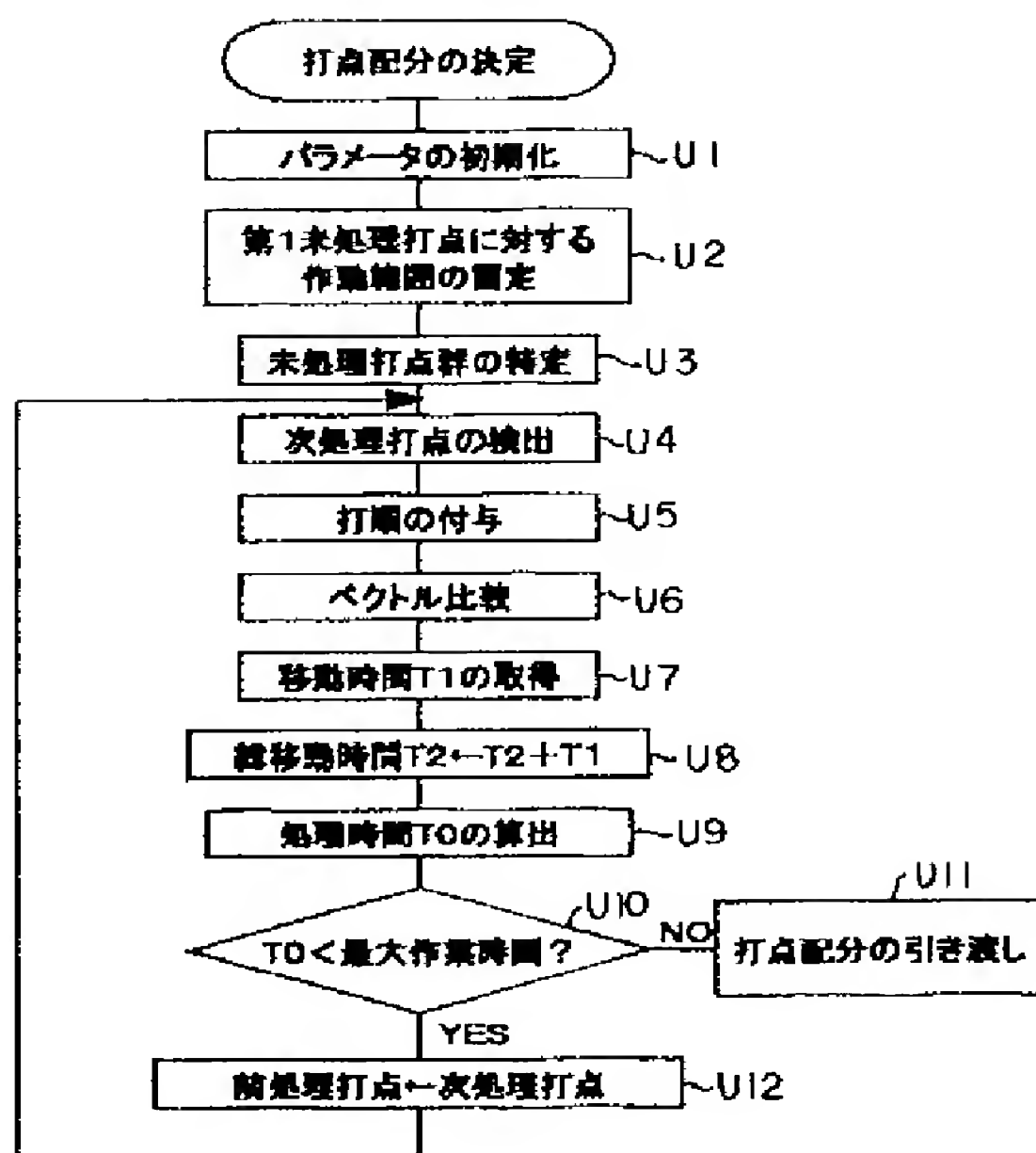
【図22】



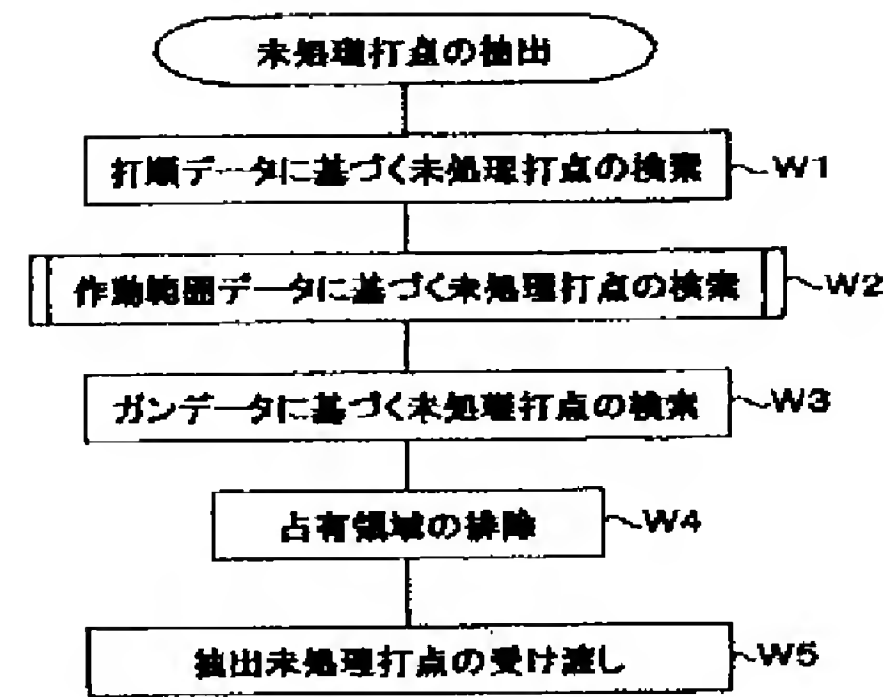
【図29】



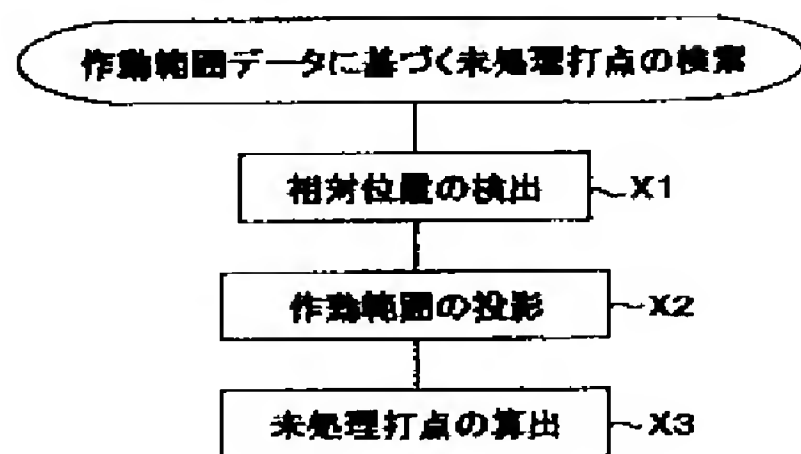
【図21】



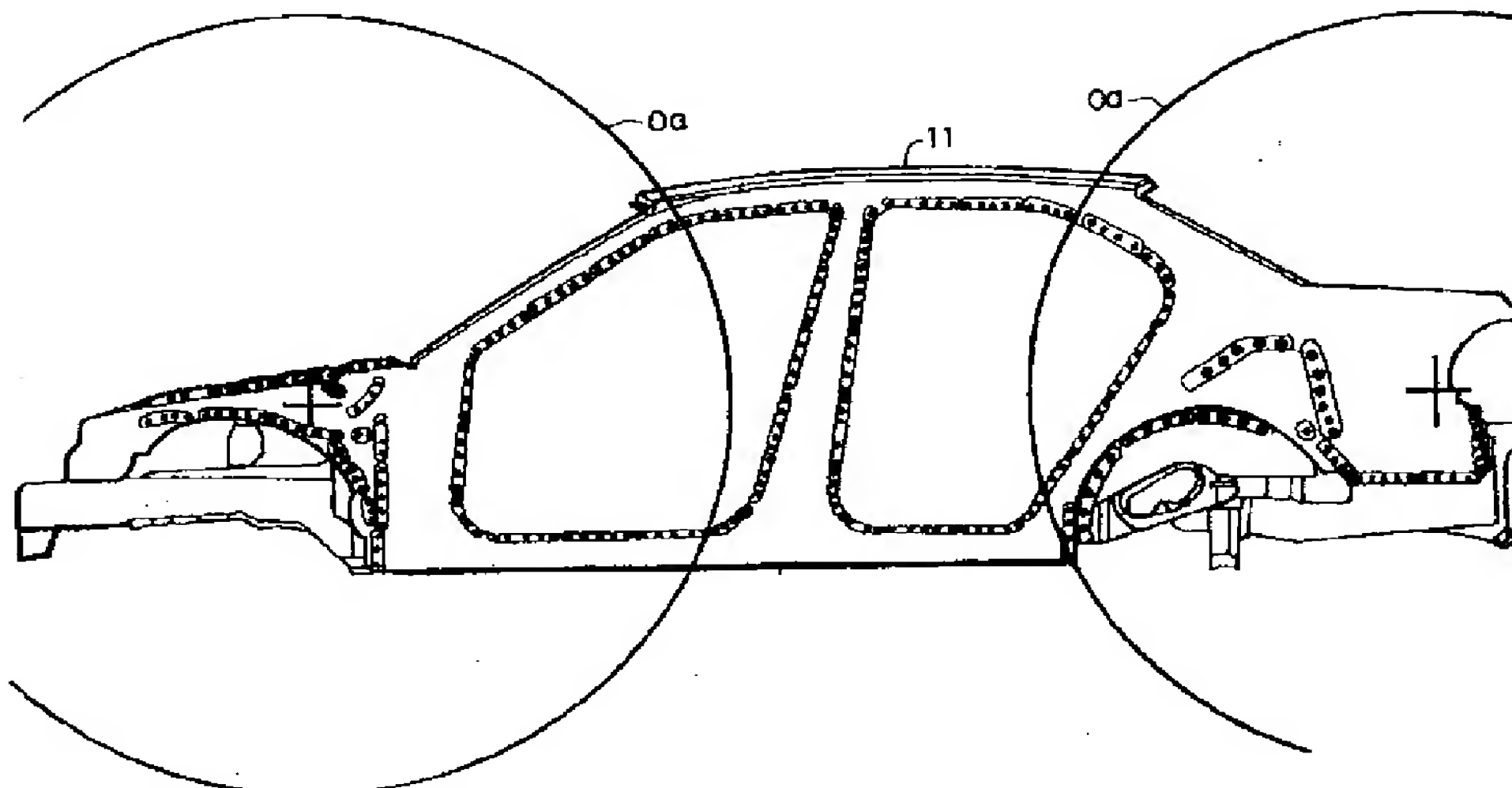
【図30】



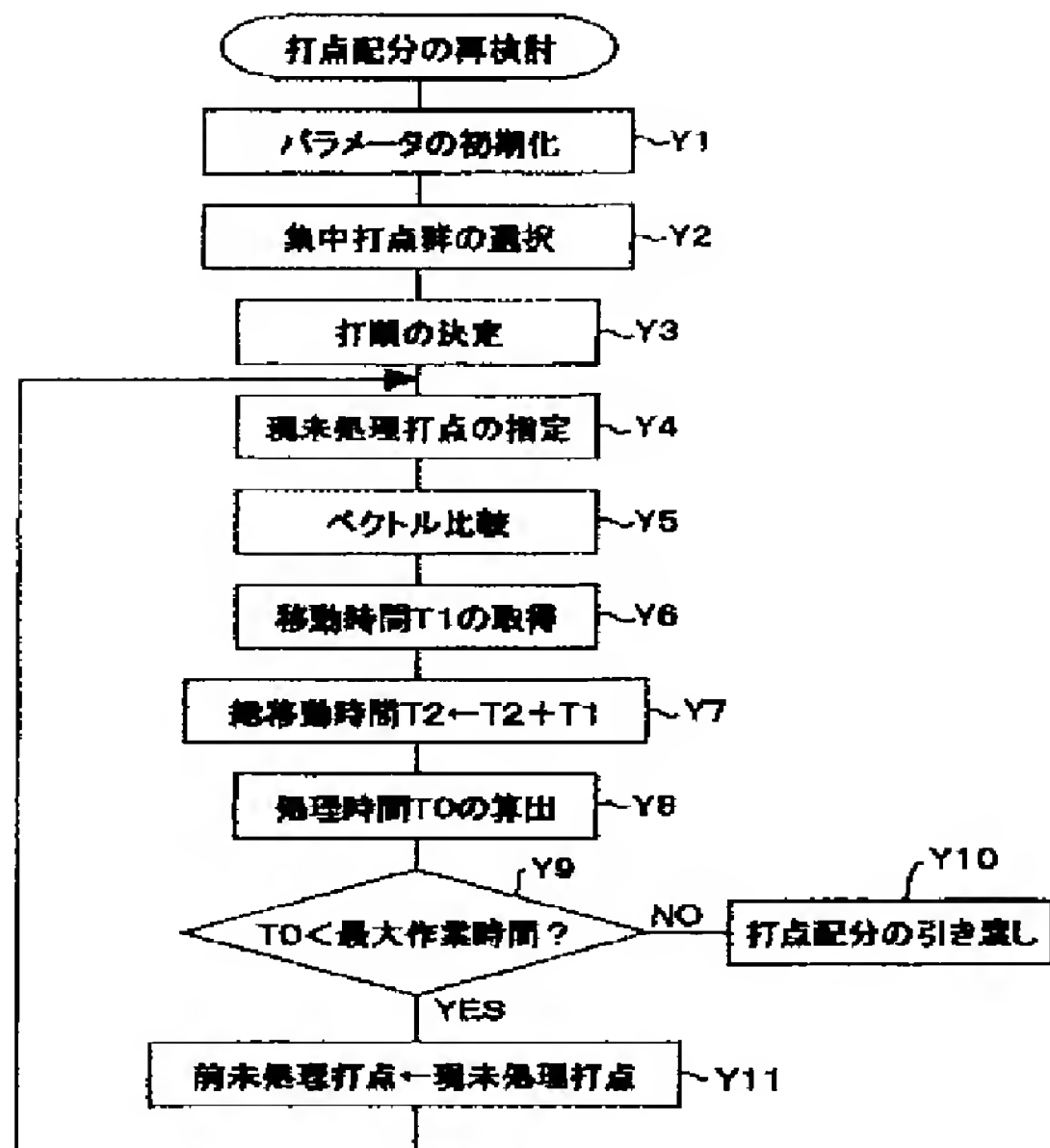
【図31】



【図32】



【図33】



【図34】

作業ステーション 識別子	1			2
溶接ロボット 識別子	1	2	3	1
装着ガン	MCF	SCB	BXA	SCA
A1-1				
A1-2				
A1-3				
A1-4				
A2-2				
A3				
A4				
A5-1				
A5-2				
A6-1	8			
A6-2	7			
A7	6			
A8	5			
B1-1	3			
B1-2	2			
B1-3	4			
B2-1	16			
B2-2	17			
B2-3	18			
B2-4	19			
E1-1	9			
E1-2	10			
E1-3	11			
E2-1	12			
E2-2	13			
E2-3	14			
E2-4	15			
H3	1			

フロントページの続き

(72)発明者 金子 正勝
埼玉県狭山市新狭山1-10-1 ホンダエ
ンジニアリング株式会社内

(72)発明者 斉藤 仁
埼玉県狭山市新狭山1-10-1 ホンダエ
ンジニアリング株式会社内

(72)発明者 河合 泰宏
埼玉県狭山市新狭山1-10-1 ホンダエ
ンジニアリング株式会社内

Fターム(参考) 3C042 RA27 RL00
4E065 AA05
5B049 BB07 CC21 CC31 DD01 DD05
EE05 EE41 FF02 FF03 FF04
FF09
9A001 HH19 HH32 HH34 JJ44 JJ48
JJ49 JJ50 KK54